

# Utjecaj prevlaka na koroziju čelika u morskoj vodi

---

**Barut, Luka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:436804>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-06**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**UTJECAJ PREVLAKA NA KOROZIJU ČELIKA U MORSKOJ  
VODI**

Rijeka, studeni 2024.

Luka Barut

0069078019

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**UTJECAJ PREVLAKA NA KOROZIJU ČELIKA U MORSKOJ  
VODI**

Mentorica: Izv. prof. dr. sc. Sunčana Smokvina Hanza

Rijeka, studeni 2024.

Luka Barut

0069078019

Rijeka, 05.03.2024.

Zavod: Zavod za inženjerstvo materijala  
Predmet: Zaštita materijala

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Luka Barut (0069078019)**  
Studij: Sveučilišni diplomski studij strojarstva (1100)  
Modul: Industrijsko i proizvodno inženjerstvo (1121)

Zadatak: **Utjecaj prevlaka na koroziju čelika u morskoj vodi / Effect of coatings on corrosion of steel in seawater**

### Opis zadatka:

Opisati i objasniti proces elektrokemijske korozije u morskoj vodi te unutrašnje i vanjske čimbenike korozije. Analizirati oblike korozijskog razaranja svojstvene čelicima, njihove uzroke te metode zaštite. Analizirati metode zaštite od korozije primjenom prevlaka, s osvrtom na prednosti, nedostatke i trendove razvoja. U eksperimentalnom dijelu rada provesti gravimetrijsko ispitivanje korozije čelika u morskoj vodi. Opisati postupak ispitivanja, korišteni materijal i prevlake. Rezultate ispitivanja kritički analizirati. Dati odgovarajuće zaključke.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanja diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20.03.2024.

Mentor:  
izv. prof. dr. sc. Sunčana Smokvina Hanza

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:  
izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

## IZJAVA

Izjavljujem da sam rad pod nazivom „Utjecaj prevlaka na koroziju čelika u morskoj vodi“ izradio samostalno, te sukladno „Uputama za pisanje završnog/diplomskog rada“ Tehničkog fakulteta u Rijeci. Koristio sam stečena znanja koja sam usvojio dosadašnjim obrazovanjem i služio se navedenom literaturom pod nadzorom mentorice izv. prof. dr. sc. Sunčane Smokvina Hanza.

Rijeka, studeni 2024.

Luka Barut

---

## ZAHVALA

*Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Sunčani Smokvina Hanza, na savjetima, podršci, na pojašnjavanju svih nedoumica koje sam imao i najvažnije na strpljenju. Htio bih se zahvaliti i ostalim profesorima koji su mi predavali, što su bili korektni prema svim studentima, uključujući i mene. Zahvaljujem svojim najbližim prijateljima koji su bili uz mene i bili mi podrška i oslonac tijekom moga studiranja i gurali me uvijek naprijed, a posebno se zahvaljujem prijatelju Petru koji mi je ustupio svoj vez i obilazio i pazio na eksperiment. Zahvaljujem firmi u kojoj sam radio „Bod ugostiteljstvo“ zato što su mi puno pomogli oko pripremanja eksperimenta i mnogo toga naučili o organskim prevlakama i važnosti predobrade. Nadalje, zahvaljujem se firmi „DRVO-ŠTIT“ koji su mi, također, uveliko pomogli oko izvršavanja ovog eksperimenta. I na kraju, najveće hvala mojoj obitelji koja mi je bila najveća podrška tijekom studiranja, kako moralna tako i financijska, i što su mi omogućili sve što mi je bilo potrebno u izvršavanju mojih dužnosti tijekom studiranja.*

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. ELEKTROKEMIJSKA KOROZIJA.....	2
2.1. Općenito o elektrokemijskoj koroziji.....	2
2.2. Mehanizmi elektrokemijske korozije .....	4
2.2.1. Anodna reakcija (oksidacija).....	4
2.2.2. Katodna reakcija (redukcija).....	5
2.3. Čimbenici korozije .....	6
2.3.1. Vanjski čimbenici .....	6
2.3.2. Unutarnji čimbenici .....	7
3. OBLICI KOROZIJSKOG RAZARANJA .....	9
3.1. Opća korozija .....	9
3.2. Pitting korozija .....	10
3.3. Korozija u procjepu .....	12
3.4. Galvanska korozija.....	14
3.5. Interkristalna korozija .....	16
3.6. Napetosna korozija.....	18
3.7. Erozijska korozija.....	20
3.8. Selektivna korozija.....	21
4. METODE ZAŠTITE OD KOROZIJE PRIMJENOM PREVLAKA.....	23
4.1. Priprema površine .....	23
4.2. Metalne prevlake .....	26
4.2.1. Vruće pocinčavanje .....	26
4.2.2. Galvanizacija.....	33
4.3. Nemetalne prevlake.....	35
4.3.1. Anorganske prevlake .....	35
4.3.2. Organske prevlake.....	38
5. EKSPERIMENTALNI DIO .....	45
5.1. Materijal .....	45
5.2. Planiranje i priprema eksperimenta.....	46
5.3. Provedba eksperimenta .....	49
5.3.1. Prvi pregled .....	50
5.3.2. Drugi pregled.....	53
5.3.3. Treći pregled.....	56
5.3.4. Četvrti pregled.....	59
5.4. Analiza i diskusija rezultata eksperimenta .....	64

5.4.1. Pociňani uzorak.....	64
5.4.2. Obojani uzorak, bez međupremaza .....	65
5.4.3. Obojani uzorak sa međupremazom .....	66
5.4.4. Nezaštićeni uzorak.....	67
5.4.5. Plastificirani uzorak .....	68
5.4.6. Galvanizirani uzorak .....	69
6. ZAKLJUČAK .....	70
LITERATURA .....	72
POPIS SLIKA .....	74
POPIS TABLICA .....	77
SAŽETAK.....	78
SUMMARY .....	79



## 1. UVOD

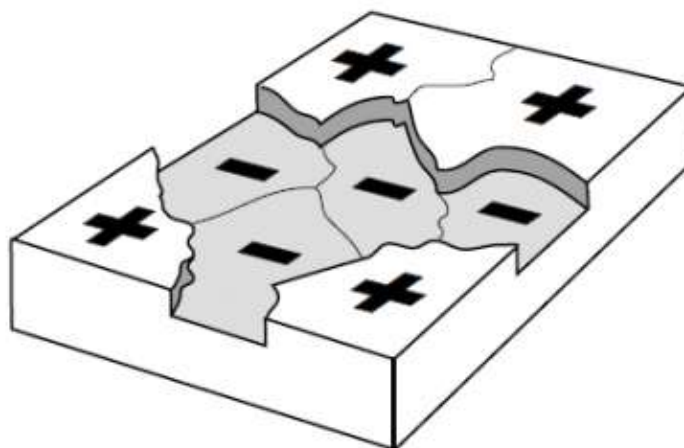
Korozija je proces u kojem metal ili legura reagira s okolinom, najčešće u prisutnosti vlage i kisika, što dovodi do promjena u strukturi i svojstvima materijala. Tijekom korozije, metal se vraća u svoje stabilnije prirodno stanje – kemijske spojeve slične mineralima iz kojih je prvobitno izdvojen. Energija potrebna za izdvajanje metala iz minerala se u ovom procesu ponovno oslobađa, čime metal prelazi u oblik oksida ili drugih stabilnih spojeva, što može oslabiti njegovu strukturu i funkcionalnost. Mehanizmi elektrokemijske korozijske reakcije mogu se podijeliti na oksidaciju, odnosno, anodnu reakciju, i redukciju, odnosno katodnu reakciju. Nadalje, postoji mnogo čimbenika koji mogu dovesti do elektrokemijske korozije. Ti čimbenici se mogu podijeliti u dvije skupine od kojih je jedna vanjske prirode poput temperature, vlage i pH vrijednosti, a druga unutrašnje prirode poput sastava materijala i mikrostrukture. Korozijsko razaranje metala može se pojaviti u različitim oblicima, ovisno o uvjetima okoline, vrsti metala i prisutnosti različitih elemenata u otopini elektrolita. Neki oblici korozijskih razaranja mogu biti izrazito opasni iz razloga što se ne mogu primijetiti na površini, već razaranje počinje u materijalu i mogu dovesti do velikih kvarova u industriji sa kobnim posljedicama (interkristalna korozija, napetosna korozija, selektivna korozija). S druge strane, postoje i manje opasni oblici korozijskog razaranja (uniformna korozija) koji se najprije pojavljuje na površini materijala, što omogućuje pravovremenu reakciju i prevenciju. Razumijevanje oblika korozijskog razaranja važno je za pravilnu primjenu zaštita. Postoje mnoge zaštite od korozije, koje se mogu primijeniti ovisno o vrsti materijala, uvjetima u kojima se koriste, te o financijskim i tehničkim zahtjevima. Neke od metoda zaštite su: tehnološko-konstruktivske mjere, uporaba inhibitora korozije, nanošenje prevlaka, odabir odgovarajućih materijala i slično.

Ovaj diplomski rad podijeljen je u dva dijela, teorijski dio i eksperimentalni dio. U teorijskom dijelu se detaljnije opisuje elektrokemijska korozija sa njenim mehanizmima i sa čimbenicima koji utječu na stvaranje elektrokemijske korozije i utječu na brzinu elektrokemijske korozije. U poglavlju nakon, opisani su oblici korozijskog razaranja, zajedno sa uzrocima nastajanja i adekvatnim metodama zaštite od korozije. Nakon oblika korozijskog razaranja opisana je metoda zaštite od korozije prevlakama. Iako ima mnogo metoda zaštite prevlakama, u ovom radu su opisane metode koje su se koristile u eksperimentalnom dijelu. Keramička prevlaka, iako se nije koristila u eksperimentalnom dijelu, opisana je kao primjer anorganske nemetalne prevlake. Eksperimentalni dio rada usmjeren je na ispitivanje učinkovitosti prevlaka u morskoj vodi, dobivenih postupcima pocinčavanja, galvanizacije, plastifikacije, te nanošenje organskih boja. Eksperimentalni dio opisuje materijal koji se koristio, pripremu i planiranje eksperimenta, provedbu eksperimenta, te analizu i diskusiju dobivenih rezultata.

## 2. ELEKTROKEMIJSKA KOROZIJA

### 2.1. Općenito o elektrokemijskoj koroziji

Elektrokemijska korozija specifičan je oblik korozije koji se dešava kao rezultat elektrokemijskih reakcija na samoj površini metala u kontaktu sa elektrolitom (vlažna okolina ili voda). Elektrokemijska korozija podrazumijeva prijenos elektrona između dijelova metalne površine ili između dva različita metala u elektrolitu što donosi razgradnju materijala. Shematski prikaz razgradnje površine metala prikazano je na slici 2.1. Primjer elektrokemijske korozije prikazan je na slici 2.2.

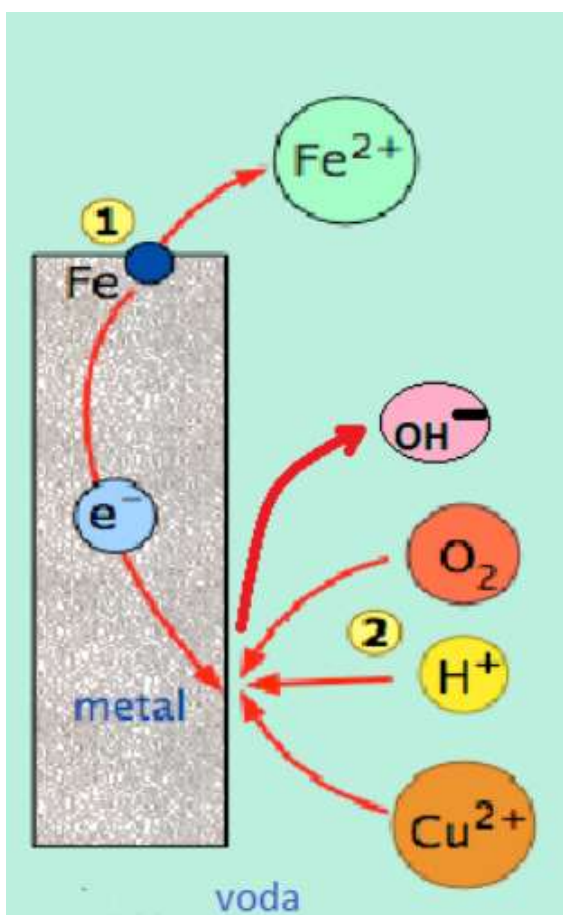


*Slika 2.1. Shematski prikaz razgradnje površine metala [1]*



*Slika 2.2 Elektrokemijska korozija [2]*

Elektrokemijska korozija metala nastaje kada elektroni s površine metala prelaze na odgovarajući depolarizator (najčešće kisik), uz prisutnost elektrolita koja omogućava prijenos metalnih iona iz metala u otopinu i hidroksidnih iona prema metalnoj površini. Kada je metal izložen elektrolitu, metal kao električni vodič i otopina kao ionski vodič stvaraju zatvoreni elektrokemijski krug. Pozitivno nabijeni željezni ioni ( $\text{Fe}^{2+}$ ) otapaju se u elektrolitu, stvarajući soli željeza, dok se elektroni ( $e^-$ ) nakupljaju na katodnom dijelu metala, što uzrokuje razliku električnog potencijala. Ovaj proces otpuštanja iona željeza iz metala poznat je kao anodna reakcija, a područje gdje dolazi do ove oksidacije naziva se anodnim područjem. S druge strane, elektroni koji se oslobađaju u anodnom procesu prenose se na katodno područje, gdje ih preuzima depolarizator, poput kisika. Kisik preuzima elektrone i u prisutnosti vode stvara hidroksidne ione ( $\text{OH}^-$ ). Ovi hidroksidni ioni reagiraju s ionima željeza iz anodnog područja, formirajući okside željeza ili hidrokside, što dovodi do korozijskih produkata i daljnje degradacije površine metala. Ovaj proces je prikazan na slici 2.3. uz dodatnu prisutnost drugih iona ( $\text{Cu}^{2+}$  i  $\text{H}^+$ ) koji mogu sudjelovati u reakcijama i dodatno ubrzati koroziju i njenu dinamiku.



Slika 2.3 Shematski prikaz anodnog i katodnog područja [3]

## 2.2. Mehanizmi elektrokemijske korozije

Mehanizmi elektrokemijske korozije temelje se na elektrokemijskoj reakciji između anode i katode u prisustvu elektrolita koji provode električnu struju, u kojem metal propada kao posljedica kemijske reakcije između metala i njegovog okoliša.

### 2.2.1. Anodna reakcija (oksidacija)

Anodna reakcija također poznata kao oksidacija jest prvi proces koji se javlja u elektrokemijskoj koroziji. Ova reakcija se odvija na anodi (po kojoj je i dobila ime) i na tom dijelu dolazi do oksidacije metala, drugim riječima, anodno područje gubi elektrone. Kod anodnog procesa, metalni atomi prelaze u metalne ione koji se počnu otapati u prisutni elektrolit.

Ključne posljedice anodnog procesa je trošenje materijala u kojem metalni atomi gube elektrone, nakon koje postaju pozitivno nabijeni ioni. U ovom procesu metal prelazi iz čvrstog oblika u otopljeni ion u prisutnom elektrolitu. Nadalje, metalni ioni koji nastaju tijekom oksidacije prelaze u zadani elektrolit tijekom kojeg ostavljaju praznine u metalnoj strukturi. Slabljenje i propadanje metalne konstrukcije je rezultat postupnog gubljenja materijala.

Brzina anodne reakcije ovisi o svojstvima okoliša i nekim čimbenicima poput prisutnosti kisika, pH vrijednost, temperaturi elektrolita itd. Jedan od najopasnijih medija jest morska voda jer sadrži kloride. Morska voda uklanja zaštitne oksidne slojeve na nehrđajućem čeliku. Također, povišena temperatura povećava brzinu reakcija u anodnom području zbog toga što ubrzava kinetiku kemijskih procesa i difuziju iona. Kada je u pitanju pH vrijednost, ona je obrnuta temperaturi i veća brzina korozije će uslijediti kod niskih vrijednosti (kiselina), posebno za metale poput željeza. Lužnata okruženja u nekim situacijama mogu stvarati zaštitne slojeve.

Anodna reakcija se može izraziti kao:



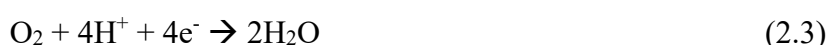
## 2.2.2. Katodna reakcija (redukcija)

Katodna reakcija je redukcijski proces koji se odvija na katodi u korozivnim procesima. U ovoj reakciji elektroni, koji se oslobađaju tijekom oksidacije na anodi (anodni proces), prelaze na katodu, gdje se spajaju s neutralnim molekulama ili ionima u elektrolitu, čime sudjeluju kao reaktanti u katodnim elektrokemijskim reakcijama. U procesu redukcije, elektroni reagiraju s oksidansom, poput molekula kisika ili iona vodika, stvarajući nove kemijske spojeve ili električki neutralne molekule. Vrsta tvari koja se reducira na katodi ovisi o uvjetima okoline, uključujući tip elektrolita, pH vrijednost i prisutnost kisika. Katodna reakcija je ključna za održavanje korozivnog procesa, jer omogućuje prijenos električnog toka kroz sustav, čime se omogućava kontinuitet elektrokemijskog korozivnog ciklusa.

Redukcija kisika (Oxygen Reduction Reaction - ORR) je ključna katodna reakcija koja igra važnu ulogu u različitim elektrokemijskim procesima, uključujući koroziju metala. ORR se odvija prvenstveno na sučelju oksid-elektrolit, a ne na sučelju metal-elektrolit, što znači da brzina reakcije ovisi o svojstvima oksidnih slojeva na metalu. Oksidi s visokim sadržajem  $\text{Fe}^{2+}$  iona ubrzavaju kinetiku prijenosa elektrona, čineći redukciju kisika izrazito brzom. U slučajevima kada metalna površina ima deblji sloj tekućine, difuzija kisika kroz poroznu, vodom ispunjenu oksidnu ljusku postaje ključna za ukupnu brzinu reakcije. Brza redukcija kisika na velikoj oksidnoj katodnoj površini omogućuje intenzivno provođenje elektrona kroz oksidni sloj, povećavajući brzinu korozije i dovodeći do stvaranja oksidnog filma koji pasivira površinu metala. ORR se može odvijati na dva glavna načina, ovisno o mediju: u alkalnom ili u kiselom okruženju, a svako ima specifične mehanizme prijenosa naboja i brzine reakcije. U alkalnom mediju kisik reagira s vodom i elektronima gdje se stvaraju hidroksidni ioni. Najčešće se odvija u morskim uvjetima. Redukcija kisika u neutralnom ili bazičnom mediju odvija se prema reakciji dana izrazom 2.2.



U kiselom mediju, reakcija redukcije kisika odvija se u sustavima s kiselim elektrolitima, kao što su baterije ili okruženja s niskim pH vrijednostima. U ovakvim uvjetima,  $\text{H}^+$  iz otopine sudjeluju u reakciji s kisikom, što dovodi do nastanka vode kao produkta. Zbog niskog pH, redukcija kisika uključuje vodikove ione, koji omogućuju odvijanje elektrokemijske reakcije koja je dana izrazom 2.3.



Redukcija vodika (Hydrogen Evolution Reaction- HER) je još jedna od mogućih vrsta katodnih reakcija koja je uobičajena u industrijskim okruženjima s prisutnim kiselinama i dana je izrazom 2.4.



Katodna polarizacija i depolarizacija ključni su pojmovi u katodnim procesima korozije. Katodna polarizacija nastaje kada se brzina reakcije na katodi smanjuje, obično zbog nakupljanja produkata reakcije, poput hidroksidnih iona, na površini katode. Ovaj proces smanjuje prijenos elektrona, usporava strujni tok, i time smanjuje brzinu korozije, jer dolazi do smanjenja elektrokemijske aktivnosti na površini. Nasuprot tome, depolarizacija uklanja proizvode reakcije s površine katode, poništava učinke polarizacije i omogućuje nastavak katodne reakcije.

### 2.3. Čimbenici korozije

Korozija ovisi o mnogim čimbenicima, od kojih neki mogu biti vanjski (djelovanje okoliša) i mogu biti unutarnji (svojstva materijala).

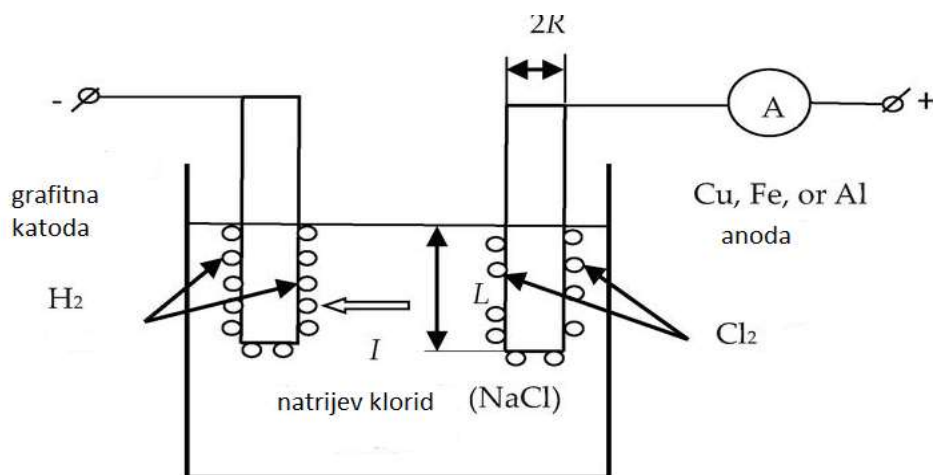
#### 2.3.1. Vanjski čimbenici

Kisik je ključan u procesu oksidacije jer se reducira na katodi, dok se metal oksidira na anodi. U prisutnosti kisika, reakcije poput redukcije kisika na katodi omogućuju protok elektrona s metala prema kisiku, uzrokujući rast sloja oksida na površini metala. Taj sloj može djelovati kao zaštitni sloj, ali u korozivnim uvjetima (npr., visoka vlaga ili prisutnost soli), kisik ubrzava formiranje oksidnih slojeva koji su krhki i skloni pucanju. Nadalje, temperatura ima značajan utjecaj na koroziju, jer može ubrzati ili usporiti kemijske i elektrokemijske reakcije koje uzrokuju oksidaciju metala. Kada se temperatura povećava, ubrzava se kretanje iona i elektrona unutar elektrolita, čime se povećava brzina reakcije oksidacije na anodnim područjima i redukcije na katodnim područjima. Time je korozija intenzivnija i brža. S druge strane, na nižim temperaturama korozija se obično usporava zbog brzine elektrokemijskih reakcija. Ipak, niske temperature mogu dovesti do kondenzacije, što može stvoriti tanki sloj vode na metalnoj površini. Stoga, temperatura okoliša postaje ključni čimbenik u predviđanju korozijskog ponašanja materijala i u dizajniranju odgovarajuće zaštite. Prisutnost vlage i vlažnost je vrlo bitan vanjski čimbenik koji utječe na brzinu i intenzitet korozije metala. Upravo ove pojave imaju ključan učinak u korozivnim procesima jer voda djeluje kao elektrolit koji omogućuje prijenos iona između anodnog i katodnog područja na površini metala. Nadalje, voda može biti opasna iz razloga što se može sakupljati u procjepima i pukotinama što dovodi do korozije u procjepu. Kiselost i alkalnost (lužnatost), odnosno, pH vrijednosti, značajno utječu na koroziju.

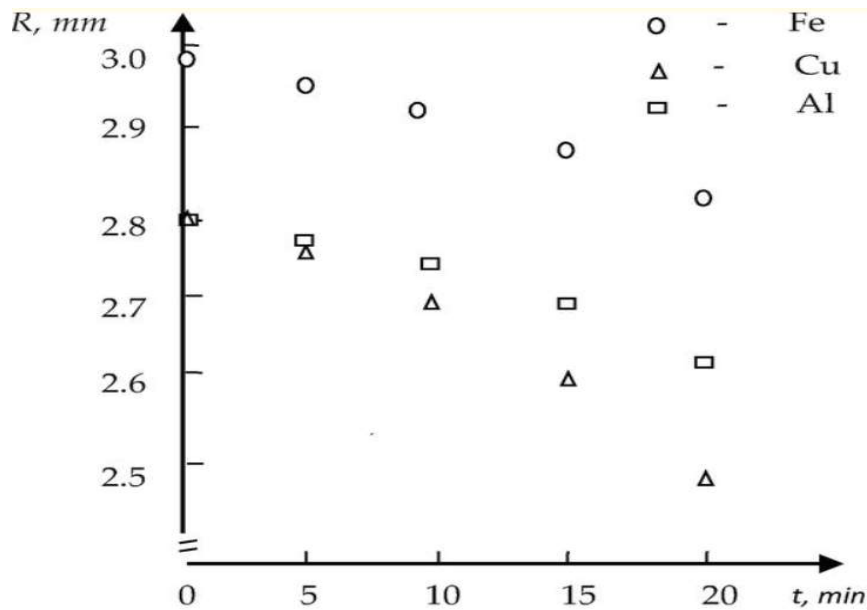
U slučaju neutralnoj pH vrijednosti poput morske vode, reakcija koja uravnotežuje otapanje željeza je redukcija otopljenog kisika u hidroksilne ione. Ako je pH manji, odnosno, ako je okolina kiselija, u otopini ima više vodikovih iona nego hidroksilnih iona. To znači da se može višak vodikovih iona uključiti u katodnu reakciju. Kod visoke pH vrijednosti, odnosno alkalne okoline, također, mogu uzrokovati koroziju nekih metala poput aluminija, gdje je formiranje oksidnih slojeva oslabljeno. S druge strane, alkalna okolina može za neke vrste metala služiti kao stvaranje zaštitnog sloja. Slana voda značajno ubrzava koroziju, pogotovo u morskim uvjetima. Sol narušava zaštitne okside na metalnim slojevima.

### 2.3.2. Unutarnji čimbenici

Brzina korozije metala ne ovisi samo o uvjetima u elektrolitu, već je također pod utjecajem njegovog kemijskog sastava i mikrostrukture. Sastav materijala predstavlja jedan od ključnih unutarnjih faktora koji oblikuju ponašanje metala i legura u procesu korozije. On ima odlučujuću ulogu u načinu na koji će metal reagirati s okolinom i kolika je njegova podložnost koroziji u specifičnim uvjetima. Svojstva osnovnog metala igra ključnu ulogu u sklonosti korozije, a to su metali poput željeza, bakra i aluminija. Željezo je izrazito osjetljivo na koroziju, osobito kada su prisutni kisik i vlaga. Aluminij je reaktivan, ali stvara aluminijev oksid koji bolje reagira na koroziju od samog aluminija. Kod bakra se dešava promjena boje i teksture (patina) koja će s vremenom usporiti koroziju. Na slici 2.6 prikazana je shema eksperimentalne opreme na sobnoj temperaturi, bakrene, željezne i aluminijeve anode koje se otapaju u otopini natrijevog klorida (NaCl) kao ioni  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ . U ovom pokusu mjereno je smanjenje mase anode. Kinetika smanjenja polumjera anoda prikazana je na slici 2.7. Rezultati pokusa prikazani su nakon 5 minuta, 10 minuta i 15 minuta. Iz pokusa se može uočiti veće smanjenje polumjera na sobnoj temperaturi kod bakra, nego kod aluminija, što govori o većoj otpornosti aluminija na korozijska razaranja u agresivnom mediju i samim time pokazuje važnost sastava materijala.



Slika 2.4 Shema eksperimentalne opreme [4]



Slika 2.5 Kinetika opadanja polumjera [R] [4]

Korozija u vodenim medijima potaknuta je razlikama u potencijalima malih područja zbog nepravilnosti unutar materijala. Te nepravilnosti variraju od atomske razine do nekoliko stotina mikrona i mogu nastati iz različitih razloga poput nesavršenosti u kristalnoj strukturi, prisutnost različitih faza ili nemetalnih uključaka. Brojna istraživanja pokazuju da ove nepravilnosti ovise o sastavu elemenata, toplinskoj i mehaničkoj obradi metala. Svojstva čelika mogu varirati čak između čelika iste kvalitete, ovisno o proizvođaču, a te razlike mogu dovesti do različitih stupnjeva otpornosti na koroziju. Uključci, poput oksida, sulfida ili nekih drugih nečistoća negativno utječu na otpornost. Ovi uključci mogu biti mjesta početka lokaliziranih oblika korozije kao što je pitting korozija ili korozija u procjepima. Pogreške koji se javljaju poput šupljina mogu biti slabe točke materijala gdje korozivna sredstva mogu prodrijeti i izazvati koroziju. Također, veličina zrna ima važnu ulogu u otpornostima. Naime, manja zrna obično rezultiraju većim brojem granica zrna koje mogu služiti kao barijere protiv korozije, dok s druge strane, na granicama zrna se mogu nakupiti nečistoće ili čestice druge faze koja može dovesti do interkristalne korozije. Čestice druge faze (precipitati) mogu utjecati na korozijsko razaranje, a one nastaju tijekom toplinske obrade i procesa legiranja.



### 3. OBLICI KOROZIJSKOG RAZARANJA

Klasifikacija oblika korozijskog razaranja najčešće se grupira u skupine temeljene na izgledu same korozije i na temelju izgleda korodiranog metala. U većini slučajeva, dovoljno je promatranje golim okom, ali u nekim situacijama je potrebno koristiti mikroskop za korozije poput interkristalne korozije. Svaki od oblika korozije se još dodatno razmatra u vidu njegovih karakteristika, metoda zaštite i mehanizama.

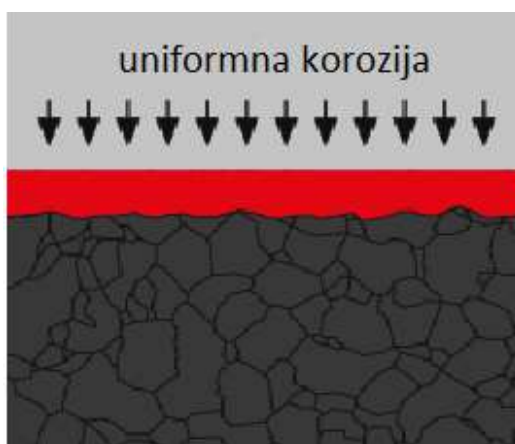
#### 3.1. Opća korozija

Glavna karakteristika opće (uniformne) korozije jest jednoliko trošenje površine materijala. U ovom slučaju se razvijaju posebna anodna i katodna područja koja se mogu javiti na više mjesta na površini metala, one mogu mijenjati lokaciju i javljati se kontinuirano na drugom mjestu. Ova vrsta korozije je jedna od najraširenijih i lako se mjeri i predviđa, što znači da u rijetkim slučajevima dovodi do neke veće katastrofe, a najnepoželjnija je sa stajališta izgleda. U slučaju zanemarivanja ove korozije, nakon duljeg vremena ona može dovesti do značajnijeg gubitka metala.

Neki od glavnih uzroka su opće izlaganje agresivnim medijima poput kisika, vode, vlage ili zbog vremena izlaganja korozivnim medijima. Također, do ove korozije može dovesti ako je neki od zaštitnih slojeva i premaza oštećen, poput nagrizanja kiselinom, mehaničkih oštećenja i slično.

Radi jednostavnosti ove korozije neke od zaštita mogu biti zaštita premazima poput boja ili inhibitorima, a može se kontrolirati katodnom zaštitom.

Na slici 3.1 prikazan je shematski prikaz uniformne korozije, dok je na slici 3.2 prikazana opća korozija u stvarnome životu.



Slika 3.1 Shematski prikaz uniformne korozije [5]



*Slika 3.2 Opća korozija na metalu [6]*

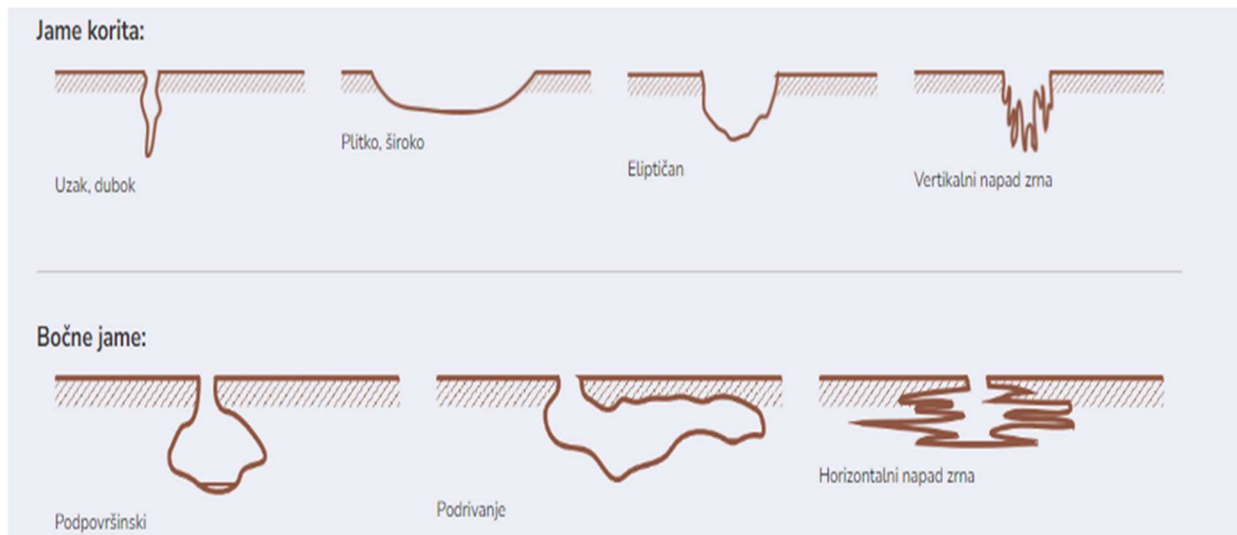
### **3.2. Pitting korozija**

Točkasta (piting) korozija, je jedna od najopasnijih ravnomjernih korozivnih oštećenja u kojem se stvaraju šupljine u materijalu, ovu vrstu koroziju je teže predvidjeti i otkriti. Točkasta korozija lokalizirani je oblik korozije u kojem ili lokalna anodna točka, ili češće katodna točka, tvori malu korozijsku ćeliju s normalnom površinom. Produkti korozije često prekrivaju jame koje se šire najčešće okomito u materijal i mogu dovesti do ukupnog gubitka metala, što na kraju dovodi do velikih i opasnih kvarova u inženjerskom sustavu. Upravo iz gore navedenog razloga, ova korozija je opasna zbog toga što se na površini metala vidi samo mali gubitak metala, dok se duboka metalna struktura oštećuje.

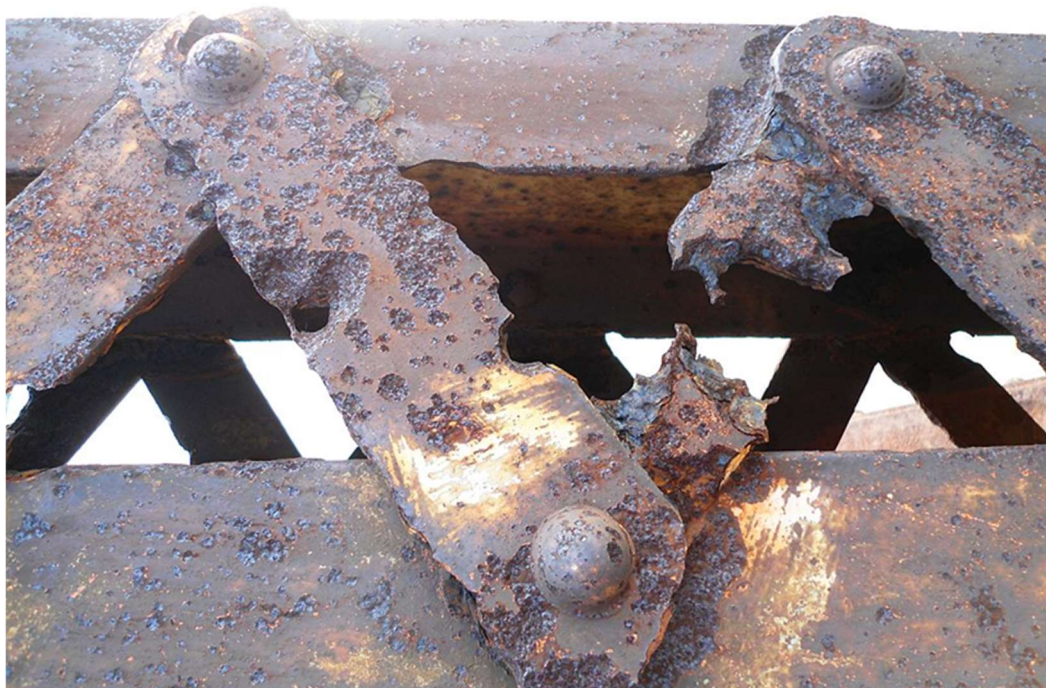
Neki od glavnih uzroka ove vrste korozije su mehaničko oštećenje oksidnog filma ili oštećenje zaštitnog premaza, ljudski faktor poput loše primijenjenog zaštitnog premaza. Uvjeti okoliša poput visoke vlažnosti, temperature i prisutnost morske vode mogu povećati pojavu ove korozije. Razlika u elektrokemijskom potencijalu između mjesta udubljenja i okolnog mjesta može utjecati na brzinu napredovanja korozije. I jedan od najbitnijih i najopasnijih uzoraka jest prisutnost nejednakosti u metalnoj strukturi.

Odabir materijala bi bio jedan od najučinkovitijih prevencija od ove vrste korozije. Materijal poput nehrđajućeg čelika koji ima veću otpornost na točkasta koroziju bio bi ispravan odabir materijala. Kontrola okoliša iskazuje se kao vrlo dobra prevencija, poput manje izloženosti agresivnim ionima i kontrola pH razine. Neke od ostalih zaštita od korozije može biti dodavanje kemikalija u okoliš kako bi se stvorio zaštitni film na površini materijala, drugim riječima, upotreba inhibitora korozije. Također, katodna zaštita kojom se primjenom male zaštitne električne struje na površini metala može spriječiti korozija, može se uzeti u obzir kao zaštita od ove vrste korozije.

Vrste točkaste korozije se mogu podijeliti u dvije skupine, a to su bočne jame i jame korita. Obje ove vrste se još dijele na način prodiranja pitting korozije u materijal. Shematski prikaz ove dvije vrste i njenih podskupina prikazane su na slici 3.3, dok je primjer ove vrste korozije u stvarnom životu prikazan na slici 3.4.



*Slika 3.3 Shematski prikaz podjele točkaste korozije [6]*



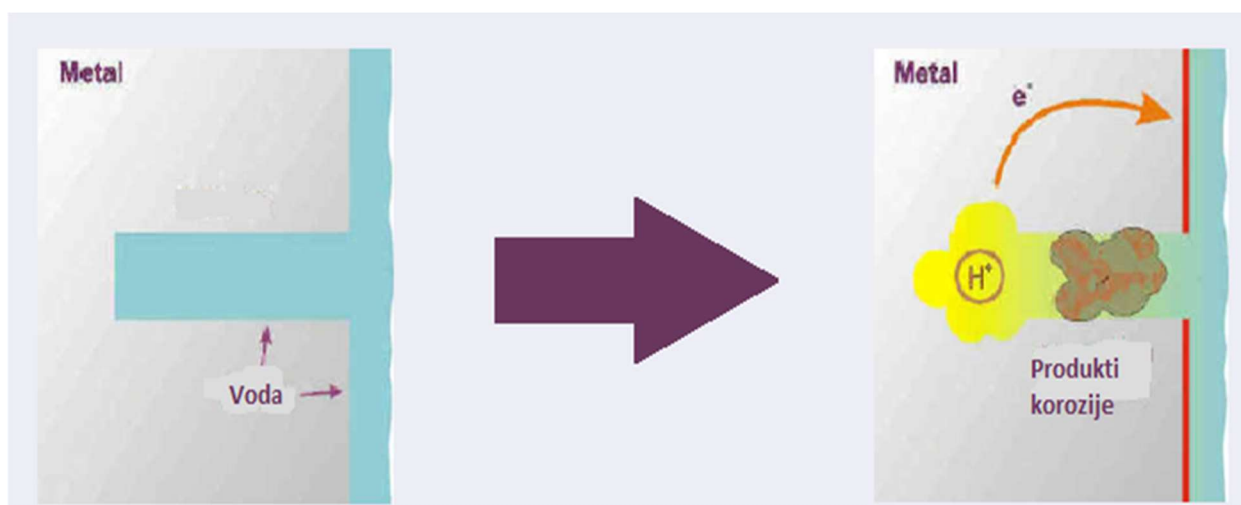
*Slika 3.4 Točkaste korozija čeličnog mosta [7]*

### 3.3. Korozija u procjepu

Korozija u procjepima (pukotinama) je još jedna vrsta lokalne korozije koja se javlja u procjepima i pukotinama, najčešće se zbiva između dva metala ili metala i nemetala. Povezan je sa stagnacijom otopine na razini mikrookoliša. Ovakva vrsta korozija najčešće se javlja ispod podložaka, brtvila glava, spojnica izolacijskih materijala i slično.

Neki od glavnih uzoraka ove korozije su iscrpljenost inhibitora u pukotini, neuravnotežena pH vrijednost pretvara tekućinu unutar pukotina u kiselu. Do ove korozije dolazi iz razloga što u otvorenim pukotinama nema dovoljno izmjene zraka i tekućine. Razlike koncentracije kisika u elektrolitu koji se nalazi u procjepima rezultiraju ovom korozijom, iz tog razloga se lokalno razvijaju anodna i katodna područja. Zbog nedovoljne količine kisika medij postaje agresivniji na korozivnom mjestu i tako lokalno ubrzava koroziju. Nakupljanje klorida kao agresivnog medija, također, može dovesti do ove vrste korozije.

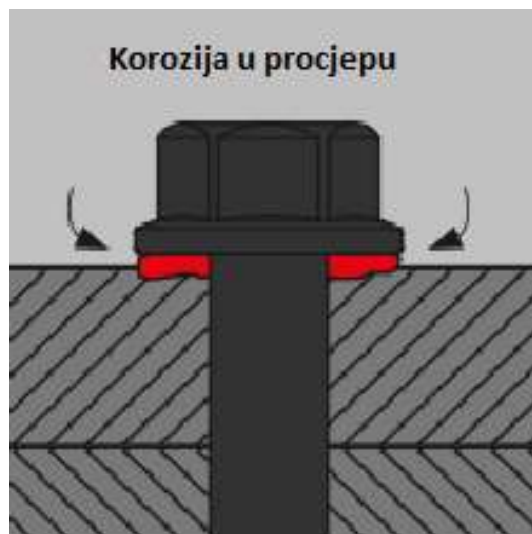
Mehanizam korozije u procjepima je objašnjen na slici 3.5. Difuzija kisika u uskim prostorima poput procjepa ili pukotina je ograničena, zbog čega se stvara razlika u koncentraciji kisika između unutrašnjosti procjepa i vanjske površine metala, što dovodi do formiranja diferencijalne aeracijske ćelije (elektrokemijske ćelije koje nastaju zbog razlika u koncentraciji kisika na različitim dijelovima metalne površine). Na početku, koncentracija kisika unutar procjepa je ista kao i izvan njega. Međutim, zbog slabe izmjene, kisik unutar procjepa brzo bude potrošen. Zbog niske koncentracije kisika u procjepu, katodna reakcija redukcije kisika ne može se odvijati unutar tog prostora, što procjepu daje anodnu ulogu u ovoj koncentracijskoj ćeliji. Ova neravnoteža uzrokuje korozivne uvjete unutar procjepa, što dalje dovodi do otapanja metala. Rezultat je stvaranje kiselog mikrookruženja jer metalni ioni, oslobođeni anodnom reakcijom, reagiraju s vodom i stvaraju kiselinu te korozivne produkte.



Slika 3.5 Mehanizam korozije u procjepu [8]

Najvažnija zaštita od ove korozije bila bi konstrukcijsko-tehnološke mjere sa kojima bi se izbjeglo stvaranje rupa i procjepa. Zaštitni premazi ispravno nanoseni mogu dovesti do uspješne borbe protiv ove vrste korozije. Katodna zaštita uveliko bi pomogla u zaštiti površine metala od ove korozije, čineći površinu više katodnu kako bi se spriječila anodna reakcija. Ostale prevencije mogu biti redovito čišćenje i održavanje i odabir materijala.

Na slici 3.6 prikazan je shematski prikaz korozije u procjepu između podloške i metala, dok je na slici 3.7 prikazan primjer ove korozije u stvarnom životu između podloške i metala.



*Slika 3.6 Shematski prikaz korozije u procjepu [5]*



*Slika 3.7 Primjer korozije u procjepu [9]*

### 3.4. Galvanska korozija

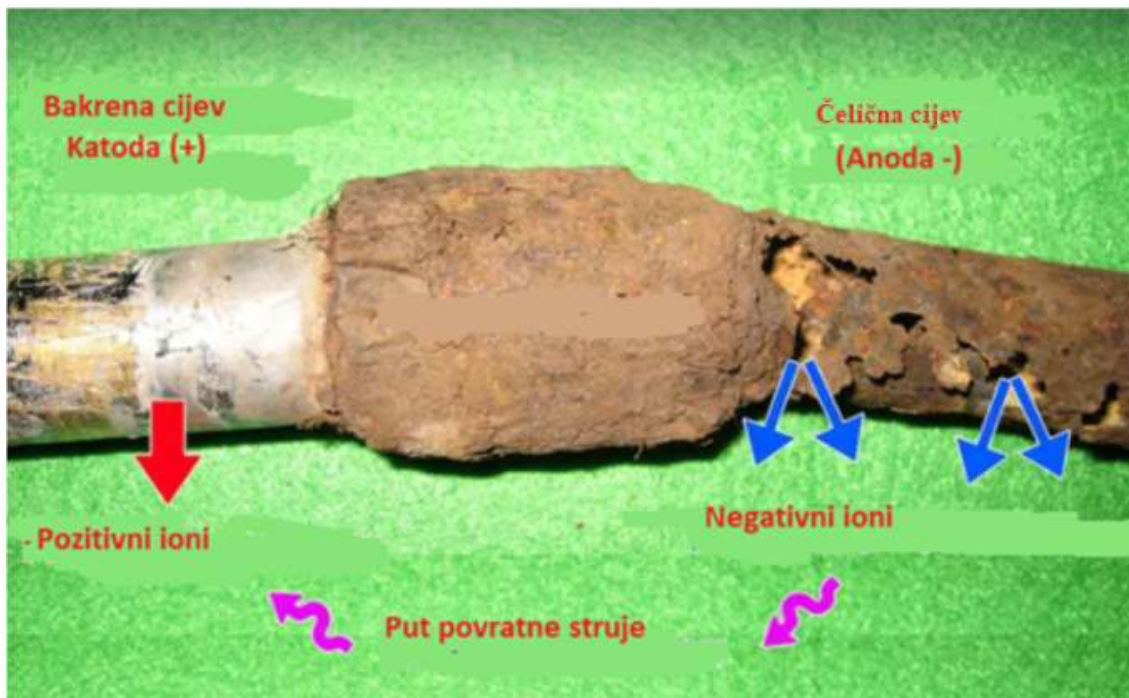
Galvanska korozija ili bimetalna korozija je vrsta korozije izazvana spajanjem dvaju različitih materijala u korozivnom elektrolitu poput morske vode. Do njega dolazi kada su dva različita metala u električnom kontaktu pod vodom. Kada se formira galvanski par, jedan od metala koji je manje plemenit, postaje anoda i brže korodira, dok drugi metal koji je stabilniji, postaje katoda i korodira mnogo sporije nego što bi korodirao kad bi bio sam.

Najveći uzrok ove vrste korozije jest upravo razlika u plemenitosti metala između dva ili više metala koji su u međusobnom doticaju. Također, bitan je površinski omjer, ako je površina anodnog metala manja u odnosu na površinu katodnog metala, korozija anodnog će biti brža.

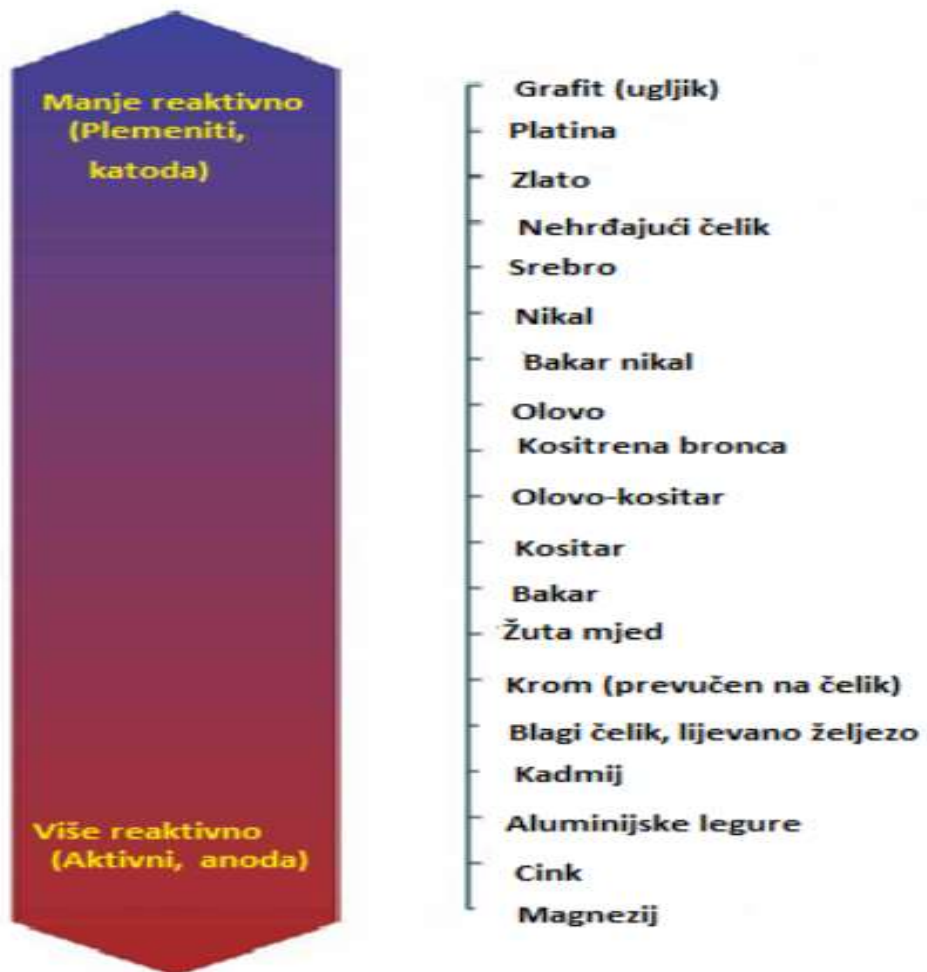
Mehanizam galvanske korozije u svakodnevnom životu prikazan je na slici 3.8. Prikazana su bakrena i čelična cijev spojena čeličnim priključkom. Da bi se galvanska korozija pojavila, neophodna su četiri elementa u galvanskim ćelijama. Anoda (čelik) koje je negativna elektroda gdje se ispuštaju negativni ioni, a stvaraju se pozitivni ioni i na ovoj elektrodi dolazi do korozije. Katoda (bakar) kao pozitivna elektroda ispušta pozitivne ione i stvara negativne ione. Potreban je elektrolit koji provodi struju (morska voda jedan on najnepodobnijih elektrolita za ovu vrstu korozije). I zadnje, put povratne struje koji povezuje katodu i anodu.

Odabiranjem materijala sa sličnim potencijalom korozije će preventivno djelovati protiv ove korozije. Zaštitni premaz je potrebno nanijeti na oba materijala, obavezno treba obratiti pozornost na tehniku nanošenja premaza na katodi jer će se u suprotnom galvanska korozija pogoršati. Postavljanje materijala odgovarajuće veličine s ciljem odvajanja dva metala može pozitivno djelovati na sprječavanje ove korozije. Na posljetku, u okolinu se mogu dodati inhibitori korozije kao prevencija.

Na slici 3.9 prikazan je galvanski niz najplemenitijeg na vrhu do najaktivnijeg na dnu.



Slika 3.8 Mehanizam galvanske korozije [10]



Slika 3.9 Galvanski niz [11]

### 3.5. Interkristalna korozija

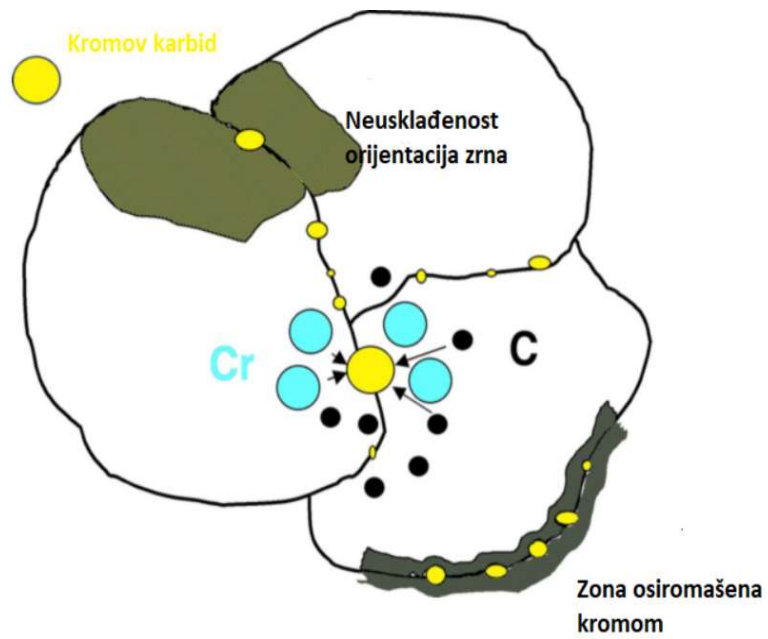
Mikrostruktura metala sastoji se od sitnih kristala ili zrna koja su međusobno odvojena granicama. Kod ove vrste korozije dolazi do lokaliziranog propadanja upravo uz te granice, dok unutrašnjost zrna uglavnom ostaje netaknuta. U ozbiljnim slučajevima, interkristalna korozija može toliko oštetiti granice da cijela zrna postaju nestabilna i dolazi do gubitka integriteta materijala. Takav napad često slijedi usku putanju duž granica, a oštećenje može biti dovoljno da uzrokuje odvajanje ili ispadanje cijelih zrna zbog propadanja njihovih granica. Interkristalna korozija predstavlja ozbiljan problem u industrijama kao što su kemijska obrada, nuklearna energija i zrakoplovstvo, gdje kvarovi mogu imati kritične posljedice.

Primarni uzrok interkristalne korozije je segregacija nečistoća na granicama zrna. Također, klasičan primjer i uzrok interkristalne korozije je takozvana senzibilizacija (proces štetnog izlaganja toplini) nehrđajućeg čelika ili oštećenje u području zavora. Naime, tijekom zavarivanja, pri visokim temperaturama dolazi do stvaranja taloga bogatog kromom duž granica zrna. Ovi talozi povlače krom iz okolnog područja, smanjujući njegovu koncentraciju što čini ta mjesta osjetljivima na koroziju kada su izraženi određenim elektrolitima. Osim toplinske obrade (zavarivanja) i nečistoća duž granica zrna, sastav legure može biti ključan uzrok ove vrste korozije. Elementi poput ugljika, bora ili fosfora mogu uzrokovati taloženje karbida ili drugih faza duž zrna. Nadalje, veličina zrna se izdvaja kao bitan čimbenik koji doprinosi ovoj vrsti korozije. Manja zrna s većim površinama granica mogu povećati sklonost ovoj vrsti korozije.

Glavne zaštite i prevencije kod ove vrste korozije su ljudski faktor, drugim riječima, ispravna toplinska obrada. Toplinsko žarenje praćeno brzim hlađenjem može pomoći u otapanju karbida i sprječavanju njihovog taloženja. Korištenje materijala s niskim udjelom ugljika smanjuju rizik od taloženja karbida i korištenje legura koje su stabilizirane elementima poput titana.

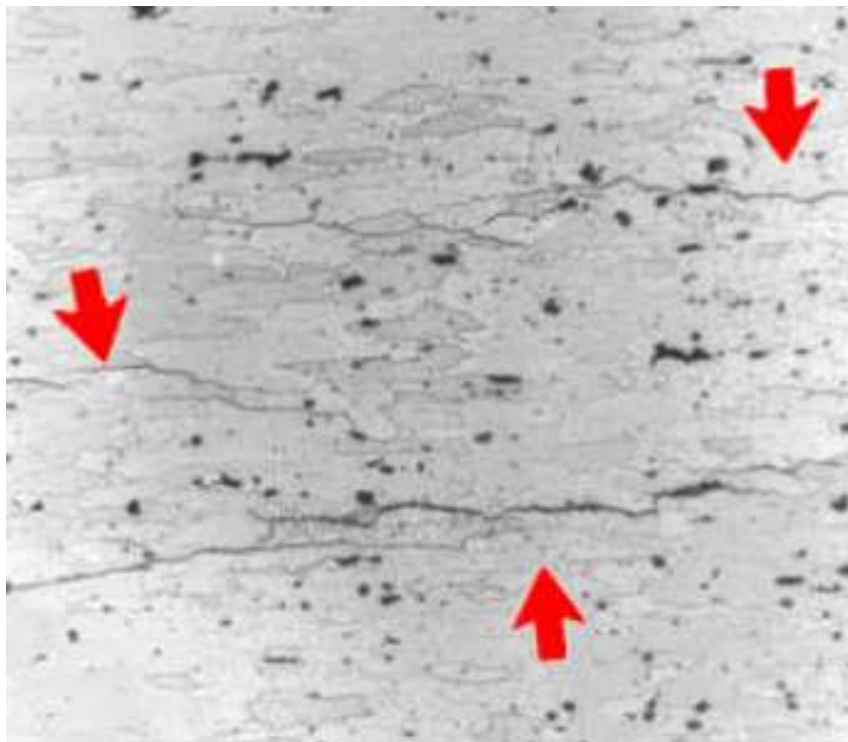
Na slici 3.10 prikazana je senzibilizacija odnosno mehanizam interkristalne korozije u nehrđajućem čeliku, koja se javlja kao posljedica taloženja kromovih karbida (žute točke) na granicama zrna. U procesu taloženja kromovih karbida, krom se povlači iz okolnih područja kako bi formirao spojeve na granicama zrna. Rezultat toga jest stvaranje zone osiromašene kisikom (tamnosivi dio), gdje je koncentracija kroma ispod razine potrebne za učinkovitu otpornost na koroziju. Kromovi karbidi nastaju kada se krom kombinira s ugljikom na povišenim temperaturama poput zavarivanja. Neusklađenost orijentacije zrna nam ukazuje na različit raspored atoma.





*Slika 3.10 Mehanizam interkristalne korozije [12]*

Na slici 3.11 prikazana je interkristalna korozija komponente zrakoplova izrađene od aluminija.



*Slika 3.11 Interkristalna korozija [13]*

### 3.6. Napetosna korozija

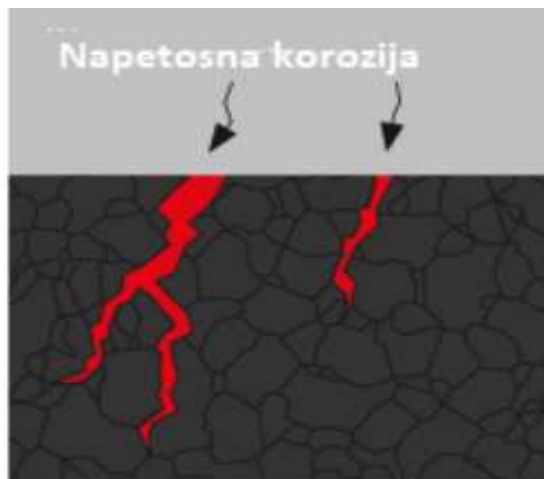
Pukotine uzrokovane naponskom korozijom su pukotine izazvane kombiniranim utjecajem vlačnog naprezanja (mehaničkog djelovanja) i korozivnog okruženja (kemijskog djelovanja). To stanje može dovesti materijal do lomljivosti koja se nalazi između potpunog pucanja zbog suhoće i granice zamora materijala. Ova vrsta korozije može dovesti do iznenadnog kvara jer neprimjetno oštećuje materijal, točnije, kod napetosne korozije površina u većini slučajeva ostaje netaknuta, dok se u mikrostrukтури pojavljuju fine pukotine.

Postoje dvije vrste napetosne korozije. Anodno korozijsko pucanje često se javlja kod nehrđajućih čelika, koji inače stvaraju tanki zaštitni oksidni sloj na površini kada su izloženi kisiku što ih štiti od daljnje korozije. Taj sloj kojeg također nazivamo pasivni premaz, služi kao barijera između osnovnog materijala i korozivnog okoliša. Međutim, u vrlo agresivnim poput bazena s kloriranom vodom, taj zaštitni sloj se može oštetiti. Kada se to dogodi, čelik gubi svoju prirodnu zaštitu i korozija može doprijeti u osnovni materijal. Pukotine koje su već nastale mogu se širiti i oslabiti materijal i samim time smanjiti njegovu nosivost do točke kada više neće biti uporabljiv. S druge strane, katodno pucanje ili krtost uzrokovana vodikom javlja se uglavnom na materijalima koji su podložni kaljenju (vijak). U takvim slučajevima, vodik može prodrijeti u materijal, što uzrokuje unutarnja naprezanja. Kada je vlačno naprezanje dovoljno visoko, može doći do loma materijala zbog zasićenja vodikom.

Glavni uzrok ove vrste korozije su upravo naprezanja (zaostala naprezanja) koja mogu nastati tijekom različitih procesa poput hladne deformacije, oblikovanjem zavarivanja, toplinske obrade, brušenja, strojne obrade i slično. Stvarna vlačna opterećenja i širenje, odnosno, stezanje materijala zbog brzih promjena temperature dovodi do vanjskih naprezanja. Stupanj naprezanja u kombinaciji sa vrstom legure i okolišnim uvjetima dovodi do napetosne korozije.

Neke od glavnih prevencija ovog agresivnog korozivnog napada mogu biti odabir odgovarajućih materijala za određeno agresivno okruženje (uključujući temperaturu i vanjska opterećenja), smanjenje naprezanja kroz toplinsku obradu ili zaštitni premazi koji sprječavaju kontakt sa korozivnim medijem.

Na slici 3.12 prikazan je shematski prikaz nastanka pukotine zbog pojave napetosne korozije. Na slici 3.13 prikazana je mikrofotografija loma materijala duž granica zrna, dok je na 3.14 prikazana mikrofotografija više razgranatim uzorkom pukotine, takozvane „munje“.



*Slika 3.12 Shematski prikaz djelovanja napetostne korozije [5]*



*Slika 3.13 Pucanje duž granica zrna [6]*



*Slika 3.14 Više razgranato pucanje „munje“ [6]*

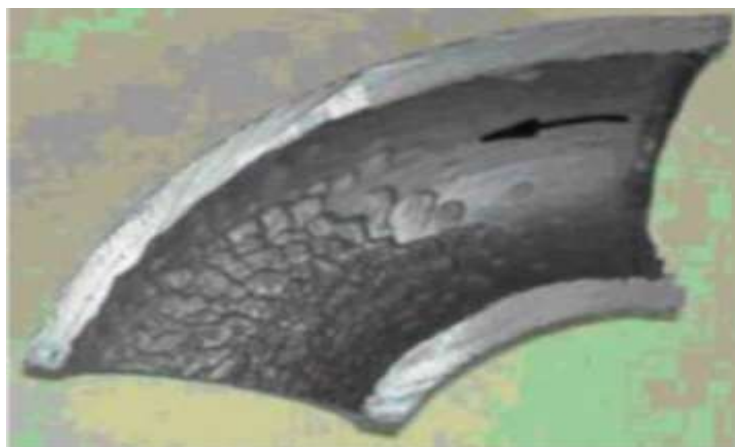
### 3.7. Erozijska korozija

Erozijska korozija je ubrzani oblik korozijskog razaranja koji nastaje zbog interakcije korozivnog medija s metalnom površinom, dok se u isto vrijeme događa relativno gibanje između tekućine i metala. Taj proces se događa kada korozivno sredstvo, poput plina ili tekućine, nosi sitne abrazivne čestice koje pri udaru o metalnu površinu uklanjaju zaštitni film, izlažući tako novi sloj metala daljnjoj koroziji. Ovaj tip korozije je posebno problematičan kada se dogodi povećana turbulencija zbog poremećaja u uzorku protoka ili visoka brzina protoka.

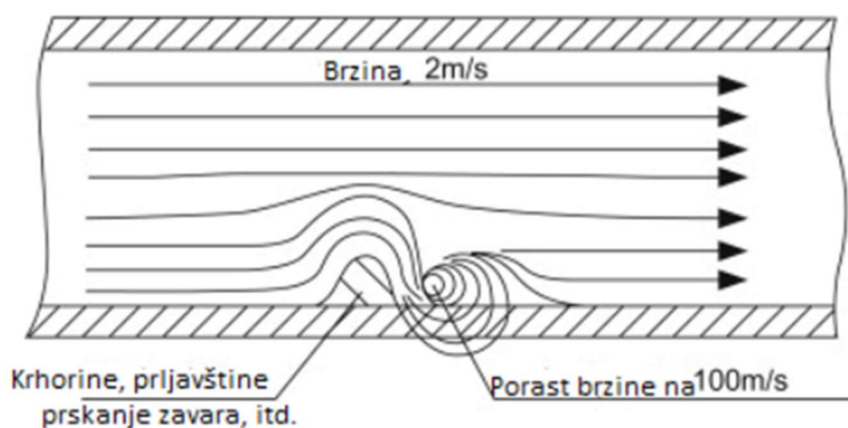
Erozijska korozija može biti pogoršana lošom kvalitetom izrade ili nepravilnim dizajnom. Na primjer, nepravilnosti na krajevima cijevi nakon rezanja mogu uzrokovati lokaliziranu turbulenciju, što povećava brzinu protoka i uzrokuje intenzivniji napad korozije. Zaostale abrazivne čestice u tekućini također mogu dovesti do ove vrste korozije, uništavajući pri velikim brzinama fluida, zaštitni sloj cijevi.

Najučinkovitija zaštita od ove vrste korozije jest tehnološko-konstruktivne mjere. Dizajn igra značajnu ulogu, preporučuje se smanjenje brzine fluida, izbjegavanje naglih promjena smjera protoka, održavanje glatke površine kako bi se turbulencija smanjila. Poravnanje zavarenih spojeva, kao i dodatno podebljanje osjetljivih dijelova može pomoći u smanjenju rizika kao tehnološko-konstruktivna mjera. Odabir odgovarajućeg materijala, također je ključan za smanjenje erozijske korozije (važna napomena da visoka tvrdoća materijala ne mora uvijek značiti i bolju otpornost na erozijsku koroziju). Od ostalih prevencija se može navesti promjena okolišnih uvjeta, uklanjanje abrazivnih čestica filtracijom, katodna zaštita, zaštitni premazi.

Na slici 3.15 prikazana je unutrašnjost cijevi sa oštećenjima koja su nastala uslijed erozijske korozije. Dok na slici 3.16 shematski je prikazana erozijska korozija. Stvaranje turbulencija radi nečistoća, krhotina ili prskanja zavara, povećava brzinu, a samim time i eroziju.



*Slika 3.15 Šteta prouzrokovana erozijskom korozijom [14]*



Slika 3.16 Shematski prikaz nastanka turbulencije [15]

### 3.8. Selektivna korozija

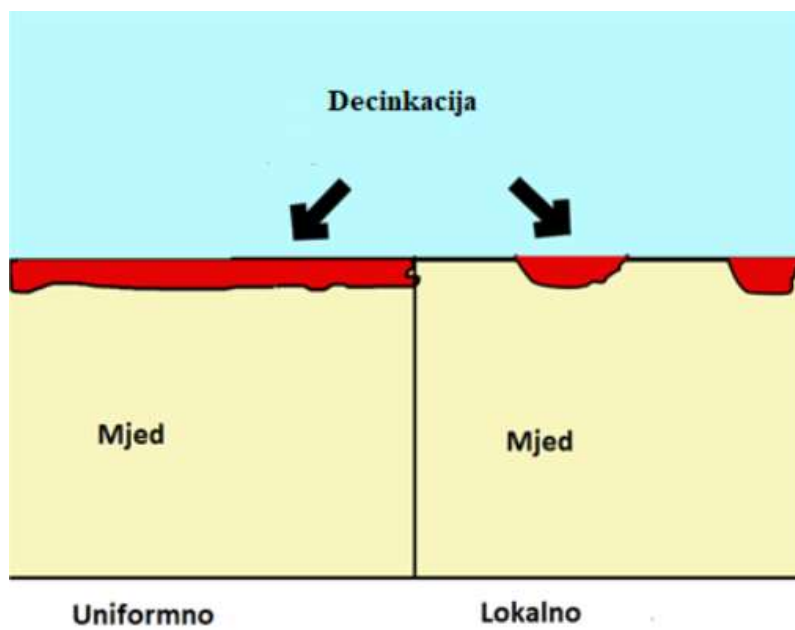
Selektivna korozija, također poznata kao i dealloying, specifičan je i iznimno opasan tip korozije gdje dolazi do elektrolitičkog otapanja jednog manje plemenitog elementa iz legure, ostavljajući za sobom poroznu i oslabljenu strukturu. Ovakvo gubljenje elementa iz legure ugrožava čvrstoću i otpornost materijala, čineći ga ranjivim na lomove ili propadanje u zahtjevnim uvjetima koji se mogu pronaći u industrijskim i građevinskim primjenama.

Mehanizam selektivne korozije se odvija u nekoliko koraka. Materijal mora biti izložen korozivnom okruženju koji može biti tekuć ili plinovit i koji olakšava „ispiranje“ specifičnih metala. Nakon toga manje plemeniti metal se otapa zbog svoje veće reaktivnosti. To može biti elektrokemijska reakcija, pri čemu plemenitiji metal djeluje kao katoda, dok ovaj manje plemenitiji djeluje kao anoda. Kako se manje plemeniti metal uklanja, ostaje porozna struktura plemenitijeg metala. Upravo ova struktura može dovesti do značajne mehaničke slabosti.

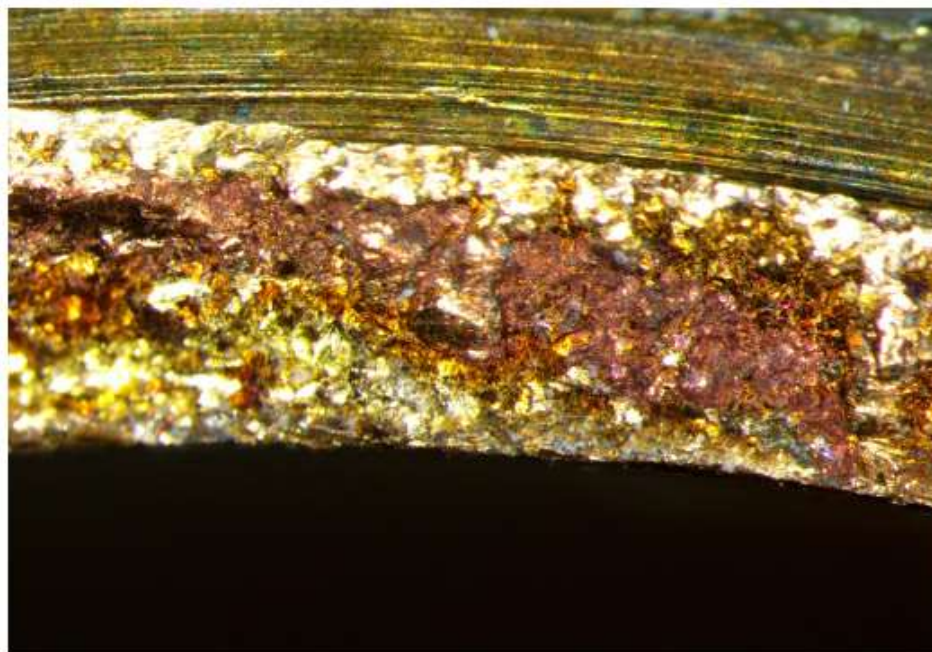
Neki od primjera delegiranja su decinkacija (gubljenje cinka iz mjeda, legura bakra i cinka), grafitna korozija (gubitak željeza iz sivog lijeva, legura grafita i željeza), dealuminacija (gubitak aluminija iz aluminijske bronce, legura aluminija i bronce) itd.

Neke od glavnih prevencija i zaštita su pažljivo biranje sastava legura, nanošenje zaštitnih premaza i dodavanje inhibitora korozivnoj okolini kako bi se stvorile prepreke koje smanjuju izloženost legure korozivnoj okolini. Kontroliranje okoline se također izdvaja kao bitna stavka kod zaštite od ove vrste korozije.

Na slici 3.17 prikazan je shematski prikaz decinkacije. Na slici je mjed prikazan žutom bojom, dok je preostali bakar, nakon gubitka cinka, prikazan crvenom bojom na površini materijala. Na lijevoj strani slike prikazana je uniformna decinkacija, gdje se cink ravnomjerno izgubio s površine, ostavljajući bakar na cijeloj površini materijala. S desne strane prikazana je lokalna decinkacija, gdje je cink izgubljen samo na određenim dijelovima površine materijala. Na slici 3.18 prikazan je gubitak cinka iz mjeda na primjeru uloška za slavinu.



*Slika 3.17 Shematski prikaz uniformne i lokalne decinkacije [16]*



*Slika 3.18 Primjer decinkacije uloška slavine [17]*

## 4. METODE ZAŠTITE OD KOROZIJE PRIMJENOM PREVLAKA

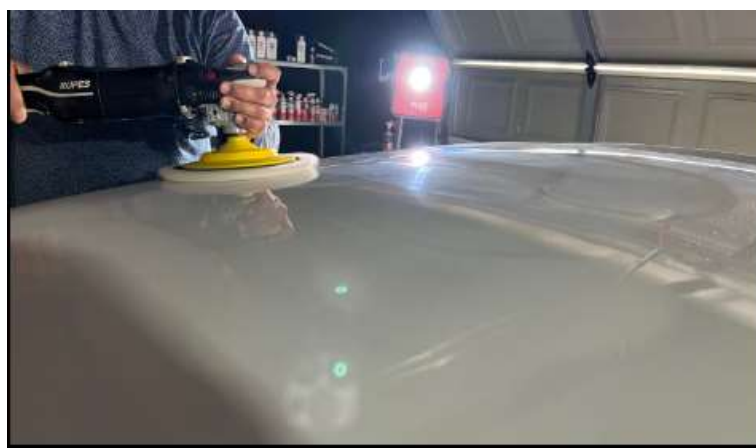
Ovakva vrsta zaštite od korozije ključna je u industrijama gdje je metal izložen korozivnim uvjetima. Prevlake se dijele na dvije osnovne skupine, a to su metalne i nemetalne prevlake, dok se nemetalne prevlake još mogu podijeliti u anorganske i organske prevlake. Svaka od ovih prevlaka ima neke prednosti i mane. Također, razlikuju se u debljinama prevlake, čvrstoći prijanjanja. Neke od njih će biti detaljnije opisane u ovom poglavlju.

### 4.1. Priprema površine

Zaštitna prevlaka uveliko će ovisiti o postupku nanošenja na metal, kao i sama površina metala, odnosno, predobrada koja je izvršena na površini. Predobrada je prva i osnovna stvar koja se treba izvršiti prije svake prevlake. Obradivanje površine bitno je kako bi se sa same površine metala uklonile sve nepravilnosti, poput prašine, prljavština, masnoća, produkata korozije i slično. Površine ne smiju imati nikakve pore, u suprotnom debljina prevlake neće biti ista na cijeloj površini duž metala. Načini obrade površine metala mogu se podijeliti na mehaničku obradu (brušenje, poliranje), kemijska ili elektrokemijska obradu i na odmaščivanje.

Poliranje je tehnika obrade površina koja uključuje uklanjanje sitnih čestica s površine radi poboljšanja izgleda i završne obrade. Pomoću ove tehnike, osim estetskog izgleda, poliranje služi za smanjenje produkata korozije. Na slici 4.1 prikazano je poliranje u autoindustriji.

Brušenje je jedna od najčešćih metoda mehaničke pripreme površine za nanošenje premaza i prevlaka. Ovaj proces uključuje trenje između brusnog alata i površine materijala, čime se uklanjaju neravnine dok površina ne postane dovoljno glatka i matirana, kako bi se boja mogla bolje i čvršće prijanjati na sami metal. Na slici 4.2 prikazano je skidanje stare boje metodom brušenja, pomoću brusilice i lamelne brusne ploče.



*Slika 4.1 Primjer poliranja [18]*



*Slika 4.2 Primjer brušenja [19]*

Kemijsko nagrivanje je tehnika obrade površine metala u kiselinama, lužinama ili soli s ciljem uklanjanja hrapavosti, produkata korozije, masnoća i slično. Ovoj tehnici se najviše podvrgava lijevano željezo, niskolegirani i ugljični čelici. Neke od otopina koje se koriste za nagrivanje ovih vrsta materijala su sumporna kiselina, kloridna kiselina, dušična kiselina u kombinaciji sa nekim drugim kiselinama.

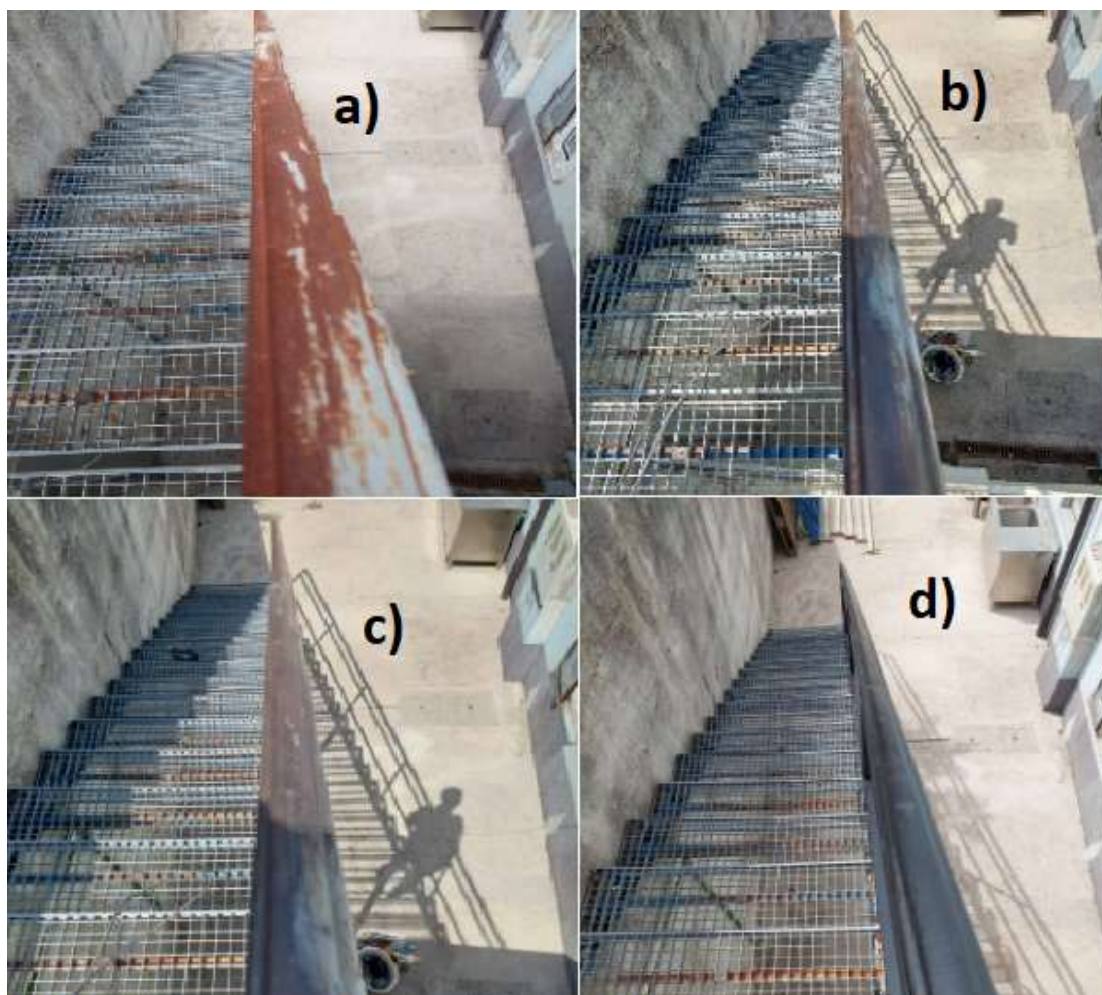
Elektrokemijsko nagrivanje koristi elektrolit i električnu struju za uklanjanje oksidnog sloja s površine metala. Ovaj proces uključuje uranjanje metala u elektrolitsku otopinu dok se kroz nju provodi jednosmjerna električna struja. Ovisno o polaritetu, nagrivanje može biti anodno ili katodno. Kod anodnog nagrivanja, metal služi kao anoda, a elektrolit je najčešće otopina kiseline ili soli koje odgovaraju sastavu metala. Ovaj pristup je posebno koristan za pripremu materijala prije galvanskog oblaganja. Kod katodnog nagrivanja, metal postaje katoda, a elektrolit može biti otopina kiseline ili mješavina kiselina, što je manje uobičajena metoda u odnosu na anodno nagrivanje.

Odmašćivanje je metoda sa kojom se sa površine metala odstranjuju masne tvari biološkog ili mineralnog porijekla. Postoje dvije vrste odmašćivanja, a to su grubo, kojim se odstranjuje većina masnih tvari, dok se sa finim odmašćivanjem odstranjuju masnoće i prljavštine koje su zaostale nakon grubog odmašćivanja.



Odmašćivanja se mogu provoditi u organskim otapalima (ugljkovodici i klorirani ili fluorirani ugljikovodici) koji moraju imati veliku moć otapanja prljavština i masnih tvari. Nanosi se trljanjem spužvastih krpa ili pamučnim vatama nakon što su umočeni u otapalo, prskanje mlazom otapala i slično. Nadalje, odmašćivanje se može provoditi vodenim otopinama (lužnate otopine, kiseline jakih oksidansa), koje se najčešće izvodi prskanjem lužina i otopina površinski aktivnih tvari na temperaturi između 70 i 90 stupnjeva Celzijevih u trajanju između jedne i tri minute. Kod odmašćivanja vodenim otopinama, u rijetkim se slučajevima koristi pamučna krpa ili spužva. Osim ova dva načina provođenja odmašćivanja postoje još odmašćivanje vodenim suspenzijama i vlažnom vodenom parom.

Na slici 4.3 prikazana je čelična ograda prije mehaničke obrade (a), nakon mehaničke obrade (b) i nakon odmašćivanja organskim otapalom pomoću pamučne krpe (c) i nanošenja nemetalne organske prevlake, odnosno, boje (d).



*Slika 4.3 a) prije mehaničke obrade, b) poslije mehaničke obrade, c) nakon odmašćivanja, d) nakon nanošenja boje*

## 4.2. Metalne prevlake

Metalno premazivanje je tehnika kojom se na razne predmete i površine nanosi zaštitni sloj metala, pružajući brojne prednosti u pogledu otpornosti, izdržljivosti i estetike tih predmeta. Jedna od ključnih funkcija ovog postupka je zaštita od korozije i štetnih utjecaja iz okoliša, poput vlage i kemikalija, što značajno produljuje vijek trajanja obloženih predmeta. Takvi premazi, koji se primjenjuju na objekte poput strojeva i teške industrijske opreme, čine površine otpornijima i manje podložnima trošenju, djelujući kao barijera između osjetljive metalne podloge i vanjskih čimbenika. Metalni premazi dodatno doprinose estetskom izgledu, dajući predmetima završni sjaj ili mat efekt koji povećava njihovu privlačnost. Upravo zbog toga, često se primjenjuju na fasadama, luksuznom namještaju i umjetničkim skulpturama, gdje pružaju vizualno poboljšanje uz istodobnu zaštitu od vremenskih utjecaja, kao što su kiša i vjetar. Na taj način, objekti zadržavaju svoj izgled i funkcionalnost kroz dulje razdoblje, a njihova otpornost na vanjske uvjete značajno se povećava. Osim što povećava otpornost i estetsku vrijednost, metalno premazivanje nudi ekonomičnu zaštitu jer smanjuje potrebu za učestalim održavanjem i produžava radni vijek opreme. To doprinosi smanjenju troškova popravaka i zamjena, čime se također smanjuje broj zastoja u proizvodnji zbog kvarova. Na taj način, metalno premazivanje pomaže u optimizaciji ukupne produktivnosti. U konačnici, metalno premazivanje doprinosi održivosti jer produžuje životni vijek proizvoda i smanjuje stvaranje otpada. Uz to, proces premazivanja često je ekološki prihvatljiviji od drugih zaštitnih metoda, omogućujući dugoročnu zaštitu uz manji utjecaj na okoliš.

### 4.2.1. Vruće pocinčavanje

Vruće pocinčavanje, temelji se na postupku u kojem se čelik ili neki drugi materijal uranja u rastaljeni (vrući) cink. Glavna metalurška reakcija koja se događa u tom postupku je proces difuzije. Difuzija se odvija između čelika i vrućeg cinka dok je čelik uronjen u rastaljeni cink. Kada se čelik izvadi iz posude s cinkom, on reagira s kisikom u zraku, stvarajući cinkov oksid. Zatim reagira s ugljikovim dioksidom, čime se stvara konačna zaštitna prevlaka od cinkovog karbonata. Ovim postupkom se zaštićuje i vanjska i unutrašnja površina materijala. Postupak se sastoji od tri temeljne faze: pripreme površine, pocinčavanja i kontrole.

Priprema površine odvija se kroz niz preciznih koraka. Prvo, materijal koji ulazi u postrojenje pričvršćuje se žicama na pokretni most pod određenim kutom (prikazano na slici 4.4). Ovaj položaj omogućuje pravilno otjecanje cinka iz unutrašnjosti materijala, pri čemu je nužno izbušiti tehničke otvore kako bi se osigurao nesmetan izlazak cinka tijekom postupka.



*Slika 4.4 Kut pod kojim se uranja materijal u posude*

U prve dvije posude nalazi se odmašćivači, jer je površina čelika uvijek masna i u toj posudi se čelik odmašćuje 15-20 minuta. U toj posudi se nalaze bakterije koje se hrane sa mastima koje se nalaze na čeliku, kada čelik nema dovoljno masti u posudu tehnolog dodaje mast kako bi te bakterije preživjele. Na slici 4.5 prikazana je kupka u kojoj se nalazi odmašćivač.



*Slika 4.5 Posuda sa odmašćivačem*

Nakon odmaščivanja, metal se uranja u posudu u kojoj se nalazi solna kiselina. Ona se u početku dobiva kao 30 %-tna kiselina, ali u posudi se razrjeđuje na 15 %. Čelik uobičajeno stoji 15-20 minuta, dok se čelik ne očisti. Na slici 4.6 prikazana je posuda sa solnom kiselinom.



*Slika 4.6 Posuda sa kiselinom*

Nakon posude sa kiselinom nalazi se posuda sa vodom u kojoj se čelik ispiri. Mora se posebno paziti da se čelik ispire, ne smije niti malo kiseline iz prethodne posude ostati zbog toga što se cink neće kvalitetno prijanjati na čelik. Slika posude sa vodom za ispiranje je na slici 4.7.



*Slika 4.7 Posuda sa vodom za ispiranje*

Nakon ispirne posude s vodom slijedi posuda s „fluksom“, koja sadrži otopinu amonijevog klorida i cinkovog klorida. Ovi kloridi se otapaju u vodi kako bi se dobila koncentrirana otopina koja na čeliku formira tanki film. Taj film je ključan za proces pocinčavanja, jer omogućuje bolje prijanjanje cinka na čelik te sprječava oksidaciju površine prije uranjanja u posudu s rastopljenim cinkom. Posuda sa „fluksom“ prikazana je na slici 4.8.



*Slika 4.8 Posuda sa „fluksom“*

Nakon posude sa „fluksom“ čelik se prebacuje na pokretnu traku koja dovodi do zadnjeg koraka kod pripremanja površine, a to je sušenje čelika. Mostna dizalica spušta čelik u komoru i komora se nakon tog zatvara. Čelik se zatim suši 10 minuta na temperaturi oko 80 °C. Sušenje se odvija na višoj temperaturi, čime bi se postigla odgovarajuća temperatura čelika, kako bi se spriječila pojava pukotina prilikom uranjanja u rastopljeni cink. Prikaz komore za sušenje prikazano je na slici 4.9.



*Slika 4.9 Komora za sušenje čelika*

Nakon što se čelik osušio prelazi se u novu fazu ovog postupka, a to je vruće pocinčavanje. Čelik se uranja u rastaljenu kupku sa najmanje 98 % cinka. Posuda sa vrućim cinkom se nalazi na slici 4.10. Na slici se može vidjeti sloj na površini rastaljenog cinka, koji predstavlja prašinu i nečistoću (trosku) koja izbija na površinu nakon ubacivanja cinka u posudu. Troska se, također, može skupljati i preprodavati dalje. Na slici 4.11 prikazan je tvrdi cink, odnosno mješavina taloga koji se nakuplja na dnu posude, i koji se nakon čišćenja i sakupljanja, prodaje dalje. Dva puta tjedno se posude čiste i skuplja se tvrdi cink. Na slici 4.12 prikazane su ploče cinka koje se ubacuju u posudu, nakon kojeg se one se na visokim temperaturama rastale.



*Slika 4.10 Posuda sa rastaljenim cinkom*



*Slika 4.11 Tvrđi cink (talog)*



*Slika 4.12 Ploče cinka*

Nakon što se čelik izvadi iz cinka, čelik ide na idući korak, u tom koraku se čelik uranja u pasivizator (prikazano na slici 4.13). Glavna zadaća posude sa pasivizatorom, da površina čelika dugo ostane svijetla. U pasivizatoru se čelik zadržava dvije minute i onda prelazi u zadnju posudu sa hladnijom vodom. Ovaj korak ne pridonosi zaštiti već služi samo za estetiku kako bi se mogao materijal lakše prodati.



*Slika 4.13 Posuda sa pasivizatorom*

Treća i ujedno zadnja faza se sastoji od kontrole premaza. Vrlo točno određivanje kvalitete premaza se može odrediti vizualnim pregledom, zbog toga što cink ne reagira sa nečistim čelikom, što bi ostavilo površinu na čeliku, neobloženom. Dodatno se još može kontrolirati sa magnetskim mjeračem debljine, sa kojim se može provjeriti da li je debljina u skladu sa zahtjevima. Na slici 4.14 prikazane su pocinčane ograde na kraju cijelog procesa.



*Slika 4.14 Pocinčane ograde*



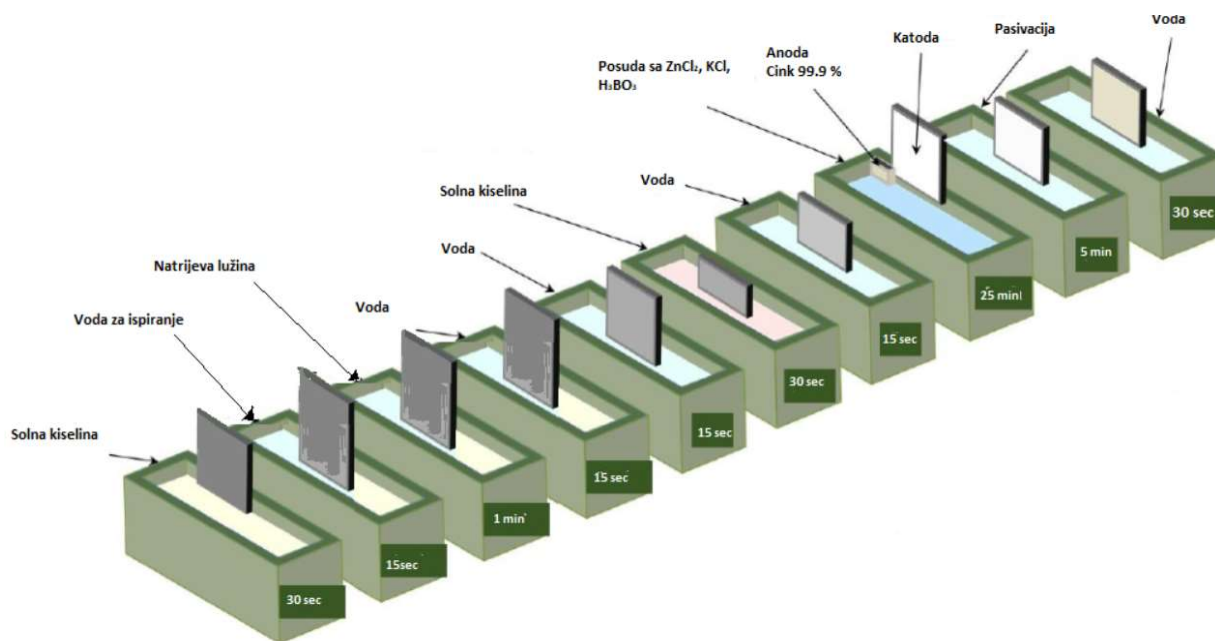
Vruće pocinčavanje jedan je od najraširenijih postupaka za nanošenje metalnih prevlaka zbog brojnih prednosti u usporedbi s drugim metodama zaštite. Ključne prednosti vrućeg pocinčavanja uključuju dugotrajnu zaštitu, jer stvara učinkovitu fizičku barijeru između osnovnog metala i okoline. Također, metoda se odlikuje visokom otpornošću na mehanička oštećenja, brzinom primjene te ekološkom prihvatljivošću (cink je netoksičan za okoliš). Unatoč visokoj učinkovitosti u zaštiti od korozije, vruće pocinčavanje ima i određene nedostatke. Ograničena debljina premaza može biti problematična, osobito kod komponenti poput vijaka koji moraju točno odgovarati provrtima. Predebeo premaz mogao bi otežati njihovu upotrebu u preciznim spojevima. Nadalje, postići ravnomjernu pokrivenost cinkom na složenim geometrijama može biti izazovno. Osim toga, prisutnost cinka može ometati daljnju obradu poput zavarivanja, jer tijekom zavarivanja cink oslobađa toksične pare koje predstavljaju sigurnosni rizik.

Naravno, svaki proces se može uvijek malim poboljšanjima učiniti boljima, samim time moguće je i povećati otpornost korozijskom razaranju. Neke od metoda mogu biti kombinacija sa drugim tehnikama poput plastifikacije ili nekim drugim organskim premazom kako bi se produžio vijek trajanja zaštitnog sloja. Također, poboljšanje kvalitete cinka, stvaranjem njegovih novih legura sa aluminijem ili magnezijem, može pridonijeti otpornosti na koroziju. Kontrola hlađenja cinka može poboljšati njegovo prijanjanje na površinu metala. I možda jedan od najpotrebnijih trendova u razvoju, ekologija. Nastoji se smanjiti uporaba kemikalija, odlaganje tih kemikalija, pročišćavanje otpadnih voda i ono najvažnije, recikliranje materijala.

#### **4.2.2. Galvanizacija**

Galvanski postupak se odvija u više koraka, a također, kao i vruće pocinčavanje, odvija se u tri faze. Priprema površine, elektrolitičko (hladno) pocinčavanje i kontrola. Priprema površine počinje sa uranjanjem u posudu sa solnom kiselinom (HCl), u toj posudi se skidaju postojeći produkti korozije i prljavštine, nakon kojeg se materijal uranja u posudu sa vodom kako bi se materijal neutralizirao. Nadalje, iduća posuda je punjena natrijevom lužinom (NaOH) i ona služi kao odmašćivač. Nakon toga, materijal se ponovno neutralizira u dvije za redom posude sa vodom. Dvije posude sa vodom su iz razloga što se nakon njih opet nalazi posuda sa solnom kiselinom (blago razrijeđenom), i sprječava se doticaj lužnate i kisele otopine. Razlog dodavanja druge posude sa kiselinom je taj što je masnoća mogla pokriti neke zaostale dijelove korozijskih produkata, i nakon odmašćivanja, potrebno je i te produkte još dodatno ukloniti. Nakon toga, slijedi ponovna neutralizacija sa vodom. U fazi elektrolitičkog cinčanja, materijal se uranja u posudu s elektrolitom koji sadrži bornu kiselinu ili kalijev klorid ili cinkov klorid. Ova posuda, nazvana "fluks", omogućuje stvaranje tankog filma na površini materijala, što osigurava bolje prijanjanje cinka.

U posudi gdje se nalazi „fluks“ pušta se struja (napon ovisi o površini materijala koji se zaštićuje). Za razliku od vrućeg pocinčavanja, ovdje struja igra bitnu ulogu, koja djeluje u elektrolitu i skida cink (koji djeluje kao anoda) koji je prikvačen za rub posude. Nakon skidanja cinka, struja nosi cink kroz elektrolit i nanaša ga na materijal (koji djeluje kao katoda). Sam proces traje 25 minuta. Nakon ove posude spušta se u posudu u kojoj se nalazi, takozvani, pasival, koji kao i kod vrućeg pocinčavanja, daje samo estetski izgled. Nakon posude sa pasivalom, ponovno se uranja u posudu sa vodom, nakon koje se nosi na sušenje i kontrolu. Shematski prikaz ovog procesa prikazan je na slici 4.15.



Slika 4.15 Shematski prikaz galvanizacije [20]

Galvanizacija je uz vruće pocinčavanje jedna od najrasprostranjenijih metoda zaštite od korozije metalnim prevlakama. Naravno, galvanizacija ima neke svoje prednosti i nedostatke. Neke od prednosti su kontrola debljine premaza (do 30 mikrona) što je bitno kod komada koji zahtijevaju točnu dimenziju zaštite. Naspram vrućeg cinčanja estetski je prihvatljiviji jer se na površini stvara glatki i sjajni premaz. Prikladan je za tanke i složene dijelove upravo zbog nanošenja tankog sloja cinka. Ne može doći do oštećenja materijala koji se galvanizira zbog toga što nema velikih razlika temperatura, nego se postupak odvija na sobnoj temperaturi. No naravno, nanošenje tankog sloja nosi neke nedostatke, a to je gubitak premaza zbog nekog fizičkog djelovanja. Nije pogodan proces za velike konstrukcije i veći su troškovi pripreme površine, površina mora biti pažljivo očišćena radi boljeg prianjanja cinka.

Također, kao što je se nastoji poboljšati proces vrućeg pocinčavanja, nastoji se razvijati trendove razvoja i kod galvanizacije. Kao i kod vrućeg cinčanja, ekologija je ključan trend razvoja i nastoji se pridonijeti okolišu kao što je navedeno i u tekstu vrućeg cinčanja. U ovom procesu veliku ulogu ima nanotehnologija kojom se pokušava poboljšati struktura i karakteristika premaza u kojoj se stvaraju homogeniji i kompaktniji slojevi cinka, što je kod ove metode bitno, zbog nanošenja tanjeg sloja cinka na metal. Nadalje, potreba za traženjem novih elektrolita koji bi bili i ekonomski i ekološki prihvatljiviji. Također, kombinacija sa drugim (najčešće organskim premazima) donosi znatno bolje rezultate otpornosti na koroziju. U ovom procesu se koristi struja i nastoji se optimizirati energetska učinkovitost primjenom naprednijih metoda upravljanja strujom kako bi se smanjila potrošnja energije ili prelazak na neki obnovljivi izvor energije (solarni paneli).

### **4.3. Nemetalne prevlake**

Nemetalne prevlake se mogu, također, koristiti kao zaštita od korozije stvarajući barijere koja sprječava dodir korozivnih tvari sa metalnom površinom. One po svome sastavu mogu biti od plastike, gume, keramike, boja. Glavna podjela nemetalnih prevlaka jest anorganske i organske prevlake.

Organske i anorganski premazi se u mnogočemu razlikuju, a najvažnija razlika je u sastavu. Organski premazi sadrže organske spojeve poput poliuretana, akrila, polimera i slično. Dok se anorganski premazi temelje na neorganskim spojevima poput keramičkih materijala, silikatnih, ponajviše premaze na bazi fosfata ili oksida. Otpornost im je velika razlika, na primjer, organski premazi su fleksibilniji i otporniji na mehanička oštećenja i kemikalije, dok su anorganski premazi otporniji na visoke temperature i UV zračenja, a mana im je da su krhkiji i lakše pucaju. Nadalje, organski premazi djeluju kao barijera metala sprječavajući doticaj okoline i površine metala, dok anorganske mogu također djelovati kao barijera, ali imaju i dodatnu funkciju katodne zaštite.

#### **4.3.1. Anorganske prevlake**

Keramičke prevlake su tanki slojevi koji se nanose na površine različitih materijala, uglavnom metala, kako bi im pružili dodatnu zaštitu i poboljšali njihovu otpornost na razne oblike oštećenja. Nanose se toplinskim raspršivanjem. Ove prevlake se koriste kako bi se povećala trajnost i učinkovitost inženjerskih materijala u korozivnim okruženjima, gdje mogu djelovati kao barijera protiv kemijskih, fizičkih ili termalnih utjecaja. U industrijama poput energetike, automobilske i zrakoplovne industrije, keramičke prevlake značajno produžuju vijek trajanja komponenti kao što su turbine i grijaći elementi, smanjujući potrebu za čestim održavanjem. Jedna od prednosti keramičkih premaza je njihova otpornost na visoke temperature, što ih čini pogodnim za primjenu u sustavima kao što su plinske turbine ili ispušni sustavi vozila. Zbog svoje tvrdoće i otpornosti na habanje, često se koriste i za zaštitu površina izloženih intenzivnom trošenju ili eroziji.

Međutim, unatoč prednostima, keramički premazi imaju i svoje izazove. Budući da su krhki, podložni su pucanju pod velikim mehaničkim opterećenjem. Zbog toga je važno pravilno odabrati vrstu keramičkog premaza ovisno o specifičnim uvjetima primjene. Osim toga, složenost primjene keramičkih premaza može povećati troškove, pa je njihova uporaba opravdana u slučajevima kada je potrebna visoka razina zaštite. U razvoju keramičkih premaza naglasak je na povećanju otpornosti na koroziju i habanje te smanjenju debljine premaza, što omogućuje bolju zaštitu bez narušavanja dimenzija ili funkcionalnosti materijala. Keramičke prevlake mogu spriječiti koroziju ograničavanjem pristupa korozivnih tvari do metalne podloge, što je posebno važno u industrijama gdje su strojevi izloženi agresivnim kemijskim sredstvima.

Proces dodavanja keramičke prevlake na metalne cijevi sastoji se u nekoliko koraka. Prvo se treba pobrinuti da cijev bude dobro očišćena od mogućih masnoća i prljavština. Nakon toga se cijevi postavljaju u posebne komore u kojima se toplinskim raspršivanjem nanosi sloj keramike. Ovaj korak prikazan je na slici 4.16. Prevlaka se nanosi i sa unutarnje strane i vanjske strane. Sa ovim korakom treba biti izuzetno pedantan, jer ako se ne nanese keramika ispravno na površinu, ona će se početi ljuštiti i neće se zadržati na površini. Gotov proizvod nakon nanošenja prevlake prikazan je na slici 4.17.



*Slika 4.16 Nanošenje keramike na metal [21]*



*Slika 4.17 Cijevi nakon nanošenja keramičke prevlake [21]*

Nakon nanašanja keramike, materijal se odnosi u mašinu za prevrtanje koja je puna tzv. medijskih keramičkih loptica (700 kila) različite veličine, vode i sapuna. Mašina za prevrtanje proizvodi vibracijski efekt koji sa medijskim keramičkim lopticama pogađaju površinu materijala i tako ju poliraju obilazeći zakutke i pukotine (prikazano na slici 4.18). Nakon završetka ovog koraka, materijal je sjajan i poliran. Proces rotiranja materijala u medijskim keramičkim lopticama traje oko sat vremena. Gotov proizvod prikazan je na slici 4.19.



*Slika 4.18 Mašina za prevrtanje [21]*



*Slika 4.19 Cijev nakon poliranja [21]*

#### 4.3.2. Organske prevlake

Plastifikacija metala je proces koji uključuje premazivanje metalnih površina slojem plastičnog materijala kako bi se poboljšale njihove karakteristike. Najčešći korišteni materijali uključuju polietilen, polivinil klorid (PVC) i teflon. Svaki od njih donosi različite osobine, na primjer, PVC pruža izvrsnu kemijsku otpornost, dok teflon nudi nisku razinu trenja. Plastična prevlaka djeluje kao zaštitna barijera koja sprječava tvari da dođu u kontakt sa površinom materijala i samim time produljuju vijek trajanja metala.

Plastična prevlaka za metal nudi nekoliko ključnih prednosti, a najvažnija među njima je izvrsna zaštita od korozije. Osim otpornosti na vlagu, plastična prevlaka se odlično iskazuje otpornošću na razne kemikalije, što ih čini idealnim za primjenu u industrijama gdje je kontakt s agresivnim tvarima neizbježan. Velika prednost ove prevlake je i u estetskom izgledu, naime, ova prevlaka omogućuje izbor više različitih boja i tekstura. Glatka površina prevlake omogućuje lakše održavanje i čišćenje. S druge strane, plastifikacija ima ograničenu otpornost na visoke temperature. Pri visokim temperaturama dolazi do topljenja prevlake. Ekološki utjecaj je velika mana ove prevlake, određene vrste plastičnih prevlaka sadrže kemikalije koje mogu biti štetne za okoliš. Mehanička oštećenja su također veliki problem, zbog toga što su popravci vremenski i financijski zahtjevniji. Ako dođe do oštećenja potrebno je ukloniti prevlaku s cijele površine i nanijeti novi sloj.

Proces plastifikacije metala odvija se u nekoliko koraka. Kao i kod nanošenja svake prevlake, tako i kod plastifikacije vrlo je ključno dobro u početku temeljito očistiti površinu i odmastiti je. Nakon čišćenja površine i odmašćivanja, metal se prenosi u sušionicu, u kojoj se metal mora skroz osušiti. Metal mora biti obrnutog polariteta nego nabijeni prah u pištolju za elektrostatsko prašenje, na taj način se omogućava da se prah lijepi i na teško dostupnim mjestima na kojima nema direktnog udara praha na površinu metala (prikazano na slici 4.20). Elektricitet odbija prah na mjestima gdje je već nanesen, a privlači na mjestima gdje nije nanesen. Nadalje, nakon što je prah nanesen, metal se izlaže velikim temperaturama (oko 200 °C) oko 30 minuta u posebnim komorama (prikazano na slici 4.21), kako bi se prah otopio i na taj način obložio čitav metal u jednoličan sloj zaštitne plastike (proces polimerizacije). Zadnji korak plastifikacije prije samog pakiranja jest upravo hlađenje, u ovom koraku se prah iz tekućeg stanja vraća u čvrsto stanje u posebno kontroliranom i čistom okruženju.

Najbitniji trend razvoja ovakvog načina nanošenja zaštitne prevlake jest, ekološka prihvatljivost i održivost. Radi se na razvoju praškastih boja obnovljivih materijala ili bez opasnih hlapivih organskih spojeva kako bi se smanjio negativan utjecaj na okoliš. Upotreba kompozitnih materijala i nanomaterijala daju bolje mehaničke i zaštitne karakteristike prevlaci u korozivnom okolišu poput visokih temperatura, UV zračenja i većoj otpornosti na habanje. Također, kombinacija sa drugim prevlakama poput vrućeg cinčanja, dovodi do veće i bolje otpornosti metala na koroziju.



*Slika 4.20 Nanošenje praha na metal [22]*



*Slika 4.21 Polimerizacija na visokim temperaturama [23]*

Boje i lakovi ubrajaju se među organske prevlake te su najrasprostranjeniji i najjednostavniji premazi u svijetu. Zbog svoje pristupačnosti, često su izbor u domaćinstvima za zaštitu metalnih površina, poput ograda, poklopaca i drugih metalnih elemenata. Komponente ovih organskih premaza uključuju veziva, otapala i pigmente. Veziva su osnovna komponenta svakog premaza. Ona osiguravaju adheziju premaza na podlogu i utječu na otpornost premaza na vremenske uvjete i kemikalije. Otapala su druga ključna komponenta ovih premaza, koriste se za regulaciju viskoznosti boje, čime olakšavaju primjenu premaza. Svaka boja ima određeno otapalo navedeno na ambalaži, čime se jamči pravilna primjena premaza. Primjer tablice s detaljima o korištenim otapalima prikazan je na slici 4.22. (U ovom slučaju, otapalo nije uključeno jer se radi o međupremazu). Pigmenti, kao treća komponenta, dodaju boju i u nekim slučajevima pružaju dodatnu zaštitu od korozije. Određeni pigmenti sadrže inhibitore korozije, koji dodatno štite metalnu podlogu od oštećenja i produžuju trajnost premaza.





Slika 4.22 Upute za korištenje boje

Boje i lakovi razlikuju se primarno po sastavu, prema kojem se svrstavaju u različite kategorije. Epoksidne boje, temeljene na epoksidnim smolama, odlikuju se visokom otpornošću na kemikalije, vlagu i mehaničke udare, što ih čini otpornima na habanje. Ipak, njihova otpornost na UV zračenje je niska, zbog čega nisu prikladne za dugotrajno izlaganje sunčevoj svjetlosti. Uglavnom se koriste kao temeljni premazi (primeri). Poliuretanske boje, koje se baziraju na poliuretanskim smolama, imaju izvrsnu otpornost na UV zračenje, što ih čini idealnim za vanjske površine jer ne blijede pod sunčevom svjetlosti. Otporne su na mehaničke udare, ali zahtijevaju preciznu pripremu površine i relativno su skuplje u usporedbi s drugim vrstama boja. Akrilne boje koriste akrilne polimere kao vezivo, što im osigurava dobru otpornost na vremenske uvjete i brzo sušenje, a dostupne su u širokom spektru boja. Međutim, manje su otporne na kemikalije i abraziju. Alkidne boje sadrže alkidne smole, koje osiguravaju dobru adheziju i otpornost na koroziju. Pristupačne su cijenom i često se koriste za zaštitu čelika i željeza, ali sporo se suše i nisu prikladne za primjenu u uvjetima visokih temperatura ili izlaganje agresivnim kemikalijama. Na slici 4.23 prikazana su čelična vrata prebojana akrilnom bojom.

Prednost boja i lakova leži u tome što se ovi premazi mogu koristiti na raznim površinama, ne samo na metalima. Estetika je bitna stvar koju treba izdvojiti kao prednost ovog premaza zbog toga što dolazi u raznim bojama i završnim obradama. S druge strane, ograničena otpornost na visoke temperature predstavlja problem kod većine gore navedenih boja. Kemijska oštećena stvaraju veliki problem ove vrste premaza zbog toga što neke boje nisu otporne na određene kemikalije, s toga nisu primjereni za teške industrijske uvjete.



*Slika 4.23 Primjer akrilne boje na čeličnim limenim vratima*

Kako bi se poboljšala kvaliteta ovih premaza, moguće je dodati prije nanošenja završnog premaza, temeljnu boju ili međupremaz. Temeljna boja osigurava dodatnu zaštitu od korozije iz razloga što sadrži inhibitore korozije, ovaj sloj blokira pristup vlazi i korozivnim tvarima. Također, temeljna boja i međupremaz mogu osigurati bolje prianjanje završnog premaza na površinu, samim time i poboljšati trajnost zaštite od korozije. Temeljne boje se podijeliti u jednokomponentne i dvokomponentne boje. Kod jednokomponentnih boja, u jednoj posudi se nalaze sve komponentne koje su potrebne, što znači da se ne moraju miješati sa dodatnim učvršćivačem. Jednostavnije ih je za koristiti upravo zbog toga što ih ne treba miješati sa još jednim sastojkom, već samo dobro promiješati i nanijeti izravno na površinu. Kod dvokomponentnih temeljnih boja postoje dvije komponente, a to su osnovna boja i učvršćivač koji se moraju pomiješati prije uporabe. Miješanje ove dvije komponente propisano je omjerom koliko se koje komponente dodaje, i nakon miješanja, smjesa ima određeni rok trajanja i s vremenom stvrdnjava. Dvokomponentne boje imaju duže vrijeme sušenja od jednokomponentnih, ali pružaju bolju otpornost na vlagu, koroziju, mehanička oštećenja i slično. Ključna stvar kod korištenja temeljnih premaza leži u tome da treba biti oprezan sa biranjem završnog premaza.

U slučaju biranja nekompatibilnog završnog premaza, dolazi do dizanja završnog premaza, zbog toga što otapalo iz temeljnog premaza ili međupremaza „podiže“ završni premaz, ne dopuštajući mu da skroz prioni uz površinu. Prikaz biranja nekompatibilnog završnog premaza sa međupremazom ili temeljnim premazom prikazan je na slici 4.24.



*Slika 4.24 Primjer nekompatibilnog završnog premaza sa međupremazom*

Najčešći postupci nanošenja ovih premaza mogu biti kistom (prikazano na slici 4.25), raspršivanjem boje pištoljem na komprimirani zrak (prikazano na slici 4.26), valjkom (prikazano na slici 4.27).



*Slika 4.25 Nanošenje boje kistom [19]*



*Slika 4.26 Nanošenje boje pištoljem na komprimirani zrak [19]*



*Slika 4.27 Nanošenje boje valjkom [24]*

## 5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu diplomskog rada provedeno je korozijsko ispitivanje pločica konstrukcijskog čelika u morskoj vodi, pri čemu su korištene različite metalne i nemetalne prevlake. Svrha ispitivanja bila je analizirati utjecaj različitih prevlaka na korozijske procese u morskoj vodi. Rezultati ispitivanja dobiveni su vizualnom kontrolom uzoraka koji su bili potopljeni u morskoj vodi četiri mjeseca.

### 5.1. Materijal

Odabrani materijal koji se koristio u ovom eksperimentu jest glatka čelična pločica, širine 50 mm i debljine 5 mm, prikazana na slici 5.1. Pločica koji se koristila je zapravo S234JR, odnosno, standardni konstrukcijski čelik. Značenje oznaka prikazano je u tablici 5.1, a njegov kemijski sastav prikazan je u tablici 5.2. Ovaj čelik dio je norme (Europska unija) EN 10025-2, a regulira toplo valjane proizvode od konstrukcijskog čelika. Fizička svojstva ovog čelika prikazani su u tablici 5.3.



Slika 5.1 Plosnata glatka pločica [25]

Tablica 5.1 Značenje oznaka čelika [26]

S	Strukturalni (Structural)
235	Minimalna granica razvlačenja u MPa za debljimu čelika $\leq 16$ mm
JR	Stupanj kvalitete koji se odnosi na energetska vrijednost ispitivanja udarom po Charpyu $\geq 27$ J na sobnoj temperaturi

Tablica 5.2 Kemijski sastav čelika

Kemijski element	Udio [%]
Željezo (Fe)	98
Ugljik (C)	0,11
Mangan (Mn)	0,63
Silicij (Si)	0,17
Fosfor (P)	0,012
Sumpor (S)	0,033
Bakar (Cu)	0,27
Dušik (N)	0,012

Tablica 5.3 Fizička svojstva čelika [26]

Gustoća materijala	7,85 g/cm <sup>3</sup>
Talište	1420 – 1460 °C
Električna vodljivost	0,141 x 10 <sup>6</sup> S/m
Modul elastičnosti	210 GPa
Poissonov omjer	0,3
Modul smicanja	80 GPa
Specifični toplinski kapacitet	460 – 480 J/kg K

## 5.2. Planiranje i priprema eksperimenta

Uzorci za ispitivanje, širine 50 mm, debljine 5 mm i dužine 150 mm, pripremljeni su rezanjem glatke čelične ploče na šest jednakih dijelova. Kako bi se uzorci mogli privezati za sidro te spustiti u more, na svaku izrezanu pločicu zavarena je matica. Na slici 5.2 prikazana je fotografija jednog od uzoraka, dok je na slici 5.3 prikazano sidro sa svim uzorcima. U tablici 5.4 prikazani su svi uzorci sa navedenim prevlakama, koji su se koristili u eksperimentu. Na slici 5.4 prikazan je eksperiment uronjen u morsku vodu.









*Slika 5.2 Prikaz jednog od uzorka*



*Slika 5.3 Prikaz sidra i uzoraka*

Tablica 5.4 Eksperimentalni uzorci

1	 A rectangular metal plate with a bright, silvery-blue surface, held by a hand against a background of gravel.	Uzorak zaštićen cinkom, vrućim pocinčavanjem
2	 A rectangular metal plate with a dark, textured, greyish-black surface, held by a hand against a background of gravel.	Uzorak zaštićen nemetalnom organskog prevlakom, odnosno, bojom.
3	 A rectangular metal plate with a smooth, light grey surface, held by a hand against a background of gravel.	Uzorak zaštićen nemetalnom organskom prevlakom, odnosno, bojom uz prethodno nanošenje međupremaza.
4	 A rectangular metal plate with a dark, almost black, smooth surface, held by a hand against a background of gravel.	Nezaštićeni uzorak
5	 A rectangular metal plate with a dark, textured, black surface, held by a hand against a background of gravel.	Uzorak zaštićen plastifikacijom
6	 A rectangular metal plate with a bright, silvery-blue surface, held by a hand against a background of gravel.	Uzorak zaštićen cinkom, galvanizacijom





*Slika 5.4 Uronjeni uzorci*

### **5.3. Provedba eksperimenta**

Datum početka provođenja eksperimenta je 20.6.2024., kada su uzorci bili uronjeni u morsku vodu u gradu Krku. Uzorci su prvi puta bili izvađeni iz morske vode zajedno sa sidrom mjesec dana nakon uranjanja, odnosno, 20.7.2024., kada se izvršio prvi vizualni pregled prevlaka. Drugi pregled izvršio se 20.8.2024., dok se treći pregled izvršio 20.9.2024. Četvrti i ujedno i zadnji pregled izvršio se 20.10.2024., točno četiri mjeseca nakon uranjanja u morsku vodu. Osim ponašanja zaštitnih prevlaka u morskoj vodi, pratili su se korozijski produkti na površinama prevlaka. U tablici 5.5 prikazani su podaci temperature mora sa datumima pregleda radi lakšeg snalaženja i praćenja eksperimentalnog dijela.

*Tablica 5.5 Prikaz podataka*

<b>Redni broj pregleda</b>	<b>Datum pregleda</b>	<b>Temperatura mora [°C]</b>
Potapanje uzoraka	20.6.2024.	20,7
Prvi pregled	20.7.2024.	24,6
Drugi pregled	20.8.2024.	25,5
Treći pregled	20.9.2024.	22,8
Četvrti pregled	20.10.2024.	19,5

### 5.3.1. Prvi pregled

Nakon prvog pregleda, na slici 5.5 prikazan je uzorak 1, koji kao zaštitnu prevlaku ima cink i nanesen je pocinčavanjem. Ne uzorku se može uočiti mnoštvo bijelih točkica po cijeloj površini uzorka koji ukazuju na mineralne taloge nastali u prisustvu soli iz morske vode, također, može se primijetiti i nakupljanje algi koje su se počele prijanjati uz uzorak. S druge strane, prevlaka je ostala kompaktna i neoštećena, ali estetski se vide promjene u vidu veće hrapavosti površine. Korozijskog produkta, hrđe, nema na površini prevlake.



*Slika 5.5 Pocinčani uzorak*

Na slici 5.6 prikazan je uzorak 2, koji je zaštićen organskom bojom (bez međupremaza). Nakon mjesec dana, na ovom uzorku, može se uočiti nekolicina bijelih točkica koji predstavljaju mineralne taloge. Na ovom uzorku se može primijetiti formiranje zelene boje, odnosno taloženje algi. Ono najvažnije, na vrhu uzorka, može se primijetiti promjena prevlake, odnosno, bubrenje završne prevlake.



*Slika 5.6 Uzorak sa završnom organskom bojom (bez međupremaza)*

Na slici 5.7 prikazan je uzorak 3, koji je zaštićen organskom bojom, uz prethodno nanošenje međupremaza. Na ovom uzorku vidljive su promjene završne prevlake, poput otpadanja boje i bubrenja. Također, mogu se primijetiti, u umjerenoj količini, produkti korozije (narančasta boja), a kao i na ostalim uzorcima, uočljiva je prisutnost algi na površini (zeleno boja).



*Slika 5.7 Uzorak zaštićen međupremazom i završnim premazom*

Na slici 5.8 prikazan je uzorak 4, koji nije zaštićen prevlakama. Na površini uzorka mogu se uočiti mineralni talozi u vidu bijelih točkica. Također, po sredini od vrha do dna se može primijetiti izbjeljivanje površine. Zelena boja koja se primjećuje su alge koje su se počele razvijati na površini uzorka, a u minimalnim količinama mogu se uočiti narančaste mrlje koje predstavljaju hrđu, odnosno produkt korozije.



*Slika 5.8 Nezaštićeni uzorak*

Na slici 5.9 prikazan je uzorak 5, koji je zaštićen procesom plastifikacije. Pri vrhu uzorka vidljive su bijele točkice koje predstavljaju mineralni talog, dok se na dnu na samom rubu vidi korozijski produkt u vidu hrđe (narančasta boja). Površina uzorka je i dalje kompaktna i neoštećena u uvjetima morske vode. Na površini plastificiranog uzorka ne uočava se zelena boja, što znači da se alge nisu nastanile na ovu površinu.



*Slika 5.9 Plastificirani uzorak*

Na slici 5.10 prikazan je uzorak 6 prvog pregleda, a to je galvanizirani uzorak. Na cijeloj površini se mogu uočiti bijele točkice koje predstavljaju mineralne taloge. Površina je i dalje kompaktna i ne mogu se primijetiti oštećenja prevlake, dok se uočava promjena u estetici u vidu hrapavosti površine prevlake. Na samom dnu uzorka može se uočiti naslaga narančaste boje, što je znak produkta korozije, odnosno, hrđe.



*Slika 5.10 Galvanizirani uzorak*

### 5.3.2. Drugi pregled

Na slici 5.11 je prikazan uzorak 1, nakon drugog pregleda. Može se primijetiti kako su gotovo cijelu površinu uzorka prekrile bijele točkice. Do oštećenja prevlake u ovome slučaju nije došlo, odnosno, površina je još uvijek kompaktna. S druge strane, sjaj i glatka površina su se u potpunosti izgubile. Pri vrhu uzorka se vide narančaste mrlje, koje prikazuju korozijski produkt (hrđu). Korozijski produkt je nastao u gornjem dijelu uzorka radi toplinske obrade, odnosno, zavarivanja matice o sam uzorak.



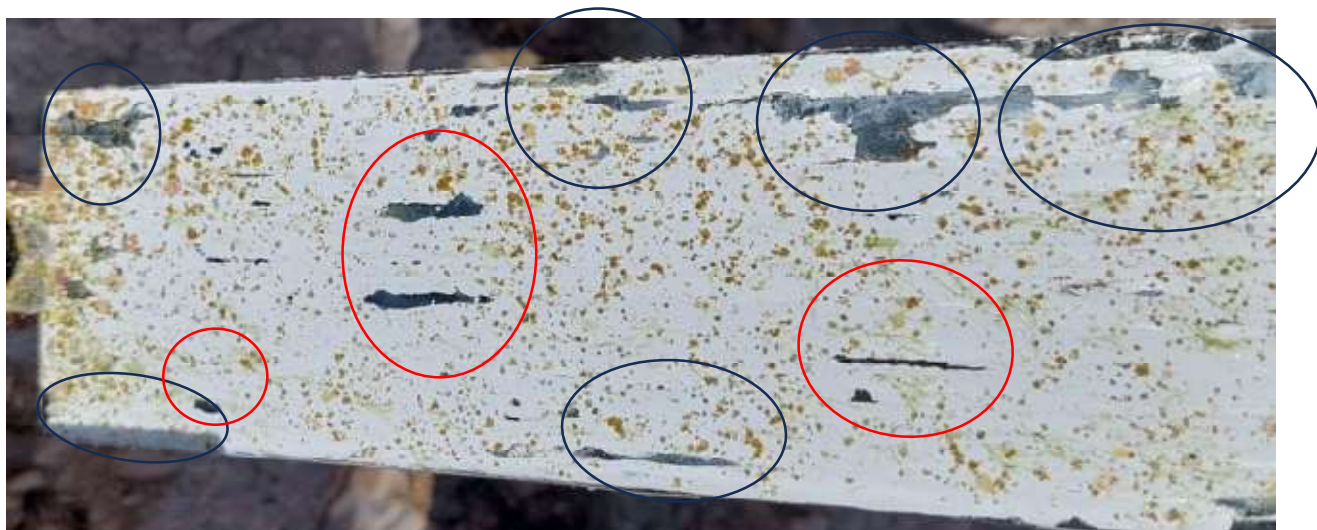
*Slika 5.11 Pocinčani uzorak*

Na slici 5.12 prikazan je uzorak 2. Može se uočiti kako je na gornjem dijelu uzorka još više došlo do oštećenja boje i bubrenja. Nadalje, uočava se na gornjem dijelu uzorka (označeno kružićem), pucanje boje. Što se tiče korozijskih produkata, može se uočiti na samom dnu uzorka, minimalna količina narančastih mrlja koje označavaju korozijski produkt. Mineralni talozi se mogu primijetiti u dnu i u vrhu uzorka.



*Slika 5.12 Uzorak sa završnom organskom bojom (bez međupremaza)*

Na slici 5.13 prikazan je uzorak 3. Površina prevlake ovog uzorka izrazito je oštećena. Po cijeloj površini uzorka došlo je do pucanja završnog premaza, ostavljajući svjetliju bijelu boju (međupremaz). Područja na kojima je došlo do pucanja samo završne boje označeno je plavim kružićima, dok mjesta na kojima se ošteti i međupremaz su označena crvenim kružićima. Na površini završne boje (bijela boja), uočava se veliki niz produkta korozije (narančasta boja), koja nagovještava uniformnu koroziju preko cijelog uzorka.



*Slika 5.13 Uzorak zaštićen međupremazom i završnim premazom*

Slika 5.14 prikazuje uzorak 4. Na gornjem dijelu uzorka može se primijetiti gubitak materijala zbog korozijskog razaranja i nagrivanja soli iz morske vode. S druge strane, ostatak površine se i dalje dobro odupire korozijskim produktima i ne primjećuje se korozijsko razaranje u materijal, mogu se primijetiti bijele točke koje označavaju mineralne taloge, ali nigdje još struktura čelika nije narušena.



*Slika 5.14 Nezaštićeni uzorak*

Na slici 5.15 prikazan uzorak 5 nakon drugog pregleda. Površina uzorka sa lijeve i desne strane u jednakoj mjeri je pogođena nagrizanjima soli iz morske vode. Centralni dio je još uvijek skoro netaknut i nema velikih oštećenja kao rubni dijelovi. Produkt korozije (hrđa) se minimalno uočava u samom dnu uzorka i u malim količinama na vrhu uzorka, a prevlaka je kompaktna i nigdje nema izravnog doticaja zaštićenog materijala sa agresivnim medijem.



*Slika 5.15 Plastificirani uzorak*

Slika 5.16 prikazuje uzorak 6 u drugom pregledu. U gornjem dijelu uzorka se u minimalnim količinama može vidjeti hrđa (narančasta boja). Prevlaka u većini površine izgubila sjaj i većina površine je hrapava zbog nagrizanja soli iz morske vode. S druge strane, prevlaka je i dalje kompaktna i zaštićeni čelik još nigdje nije u izravnom doticaju sa agresivnim medijem.



*Slika 5.16 Galvanizirani uzorak*

### 5.3.3. Treći pregled

Slika 5.17 prikazuje uzorak 1. Na slici se može uočiti kako je cijela površina uzorka prekrivena, uniformno, korozivskim produktima (narančaste naslage). No s druge strane, prevlaka je i dalje kompaktna i nigdje se ne uočavaju korozivska razaranja prema materijalu kojeg cink štiti. Deblji sloj cinka zbog vrućeg cinčanja uveliko igra ulogu. Nakon trećeg pregleda, cink gubi po cijeloj površini estetski sjaj koji je u početku imao i gubi u potpunosti glatkoću zbog nagrizanja soli iz morske vode. Mineralni talozi su u velikoj količini prekrili čitavu površinu uzorka.



*Slika 5.17 Pocinčani uzorak*

Na slici 5.18 prikazan uzorak 2 nakon trećeg pregleda. Na uzorku u vrhu se može uočiti dodatno pucanje prevlake. Na dnu se, kao i na gornjem dijelu, pojavljuje promjena prevlake, odnosno pucanje završnog sloja na dva mjesta. Korozivski produkt uniformno je zahvatio gotovo cijelu površinu prevlake (narančasta boja). Na dnu uzorka i na nekim centralnim dijelovima koja su bila netaknuta, se uočavaju bijele točke, koje označavaju, mineralne taloge.



*Slika 5.18 Uzorak sa završnom organskom bojom (bez međupremaza)*



Slika 5.19 prikazuje uzorak 3 nakon trećeg pregleda. Pri dnu uzorka se može uočiti potpuno uklanjanje završne boje, a uveliko je i uklonjen i međupremaz (crni dijelovi). Na samom dnu pojavile su se guste narančaste naslage, odnosno produkt korozije (hrđa). Gornji dio uzorka na kojem su se zadržali međupremaz i završni premaz, su u velikom dijelu uniformno prekriveni korozijskim produktom. Zelena boja koja se može uočiti na površini uzorka predstavlja alge koje su nastanile uzorak.



*Slika 5.19 Uzorak zaštićen međupremazom i završnim premazom*

Kod uzorka 4, prikazanog na slici 5.20, u gornjem dijelu dolazi do stvaranja korozijskog produkta. Također, mogu se primjetiti na samom dnu također nakupine korozijskog produkta. S druge strane, površina kojoj se daje najviše pažnje, prednja centralna strana i dalje dobro reagira na agresivni medij, odnosno, morsku vodu. Na površini se mogu uočiti mineralni talozi, dok se mogu primjetiti uniformno raspoređene narančaste točkice koje predstavljaju hrđu, odnosno korozijski produkt.



*Slika 5.20 Nezaštićeni uzorak*

Na slici 5.21 prikazan je uzorak 5. Na samom dnu se može uočiti odvajanje prevlake od materijala. Iako, gornji dio uzorka je vrlo sličan prethodnom pregledu, u donjem dijelu morska voda je počela destruktivno utjecat na prevlaku. Crvenim kružićem je označena zona najvećeg razaranja prevlake na ovome uzorku. Po čitavoj površini se mogu uočiti mineralni talozi i produkti korozije (hrđa).



*Slika 5.21 Plastificirani uzorak*

Zadnji uzorak u trećem pregledu je uzorak 6 (slika 5.22). Estetski je nakon tri mjeseca izgubio sjaj po čitavoj površini u prisustvu morske vode i to je najveća promjena koja se dogodila od prethodnog pregleda, također, površina je u potpunosti izgubila glatkoću. Iako je prevlaka izgubila sjaj, i dalje je kompaktna i nigdje se ne uočava odvajanje od zaštićenog materijala ili prodiranje do zaštićenog materijala. Korozijski produkt najuočljiviji je u gornjem dijelu uzorka gdje vlada zona utjecaja topline. Ostatak površine ima umjerenije raspoređene produkte korozije (narančaste točke), dok se mogu uočiti i mineralni talozi.



*Slika 5.22 Galvanizirani uzorak*

#### 5.3.4. Četvrti pregled

Na slici 5.23 prikazan je uzorak 1. Na samoj površini uzorka može se uočiti dodatno nakupljanje korozijskog produkta (narančasta boja), i dodatak bijelih naslaga koje predstavljaju mineralne taloge. Stvaranje kemijskih produkata odvija se uniformno, po cijeloj površini uzorka. Ne primjećuju se oštećenja prevlake, cink je i dalje kompaktno, ali zbog nagrizanja soli iz morske vode, površina je izrazito hrapava.



*Slika 5.23 Pocinčani uzorak*

Slika 5.24 prikazuje uzorak 2 u zadnjem pregledu. Nakon prethodnog pregleda ovog uzorka, uočljiva je dodatna deformacija prevlake na samom dnu. Tamna mrlja na vrhu uzorka s lijeve strane, nastala je uslijed pritiskanja dijela koji je nabubrio, nakon kojeg je izašla morska voda koja je uspjela prodrijeti ispod prevlake, na tom mjestu mogu se uočiti veći korozijski produkti koji su nastajali ispod prevlake i tako oštećivali materijal. Korozijski produkti su se dodatno proširili po cijeloj površini prevlake, također, uniformno.



*Slika 5.24 Uzorak sa završnom organskom bojom (bez međupremaza)*

Slika 5.25 prikazan je uzorak 3 u zadnjem pregledu. Na slici se uočava gubitak skoro cijele završne prevlake, gornji dio uzorka je jedini preostali dio sa završnom bojom, ali je prekriven korozijskim produktom. Međupremaz (svijetlo bijela boja), se uočava na gornjem dijelu uzorka, dok na donjem se počeo i on uklanjat. Na samom dnu se uočavaju velike naslage korozijskog produkta, odnosno, hrđe (narančasta boja). Na dijelovima gdje je uklonjena i završna boja i premaz, još nema naznaka korozijskog razaranja originalnog materijala.



*Slika 5.25 Uzorak zaštićen međupremazom i završnim premazom*

Na slici 5.26 prikazan je uzorak 4 u zadnjem pregledu. U samom vrhu uzorka, nastale su velike nakupine korozijskog produkta, odnosno, hrđe (narančasta boja). Nastali korozijski produkti najgušći su na dijelu gdje se materijal počeo gubiti, s toga za očekivat je da se ispod tih debelih naslaga dešavaju opasne korozijske reakcije i razaranja. Na samom dnu se mogu uočiti veće nakupine korozijskog produkta. Na prednjoj površini se mogu uočiti narančaste mrlje, koje prikazuju korozijski produkt (hrđu), dok je uniformno površina prekrivena bijelim točkama (mineralnim talozima).



*Slika 5.26 Nezaštićeni uzorak*

Slika 5.27 prikazuje uzorak 5 u zadnjem pregledu. Preko cijele površine, s obzirom na prethodni pregled, pojavili su se korozijski produkti. Na samom vrhu uzorka gdje je struktura materijala oštećena zbog toplinske obrade, primjećuju se bijele naslage. Na prednjoj površini formirali su se korozijski produkti (narančaste točke), i mineralni talozi (bijeke točke) koji prevladavaju na cijeloj prednjoj površini. Na samom dnu, na dijelu gdje je plastika pukla, primjećuju se guste narančaste naslage (hrđa), koje su prekrile dio gdje se plastika odlomila, zatvarajući pukotinu.



*Slika 5.27 Plastificirani uzorak*

Na slici 5.28 prikazan je i uzorak 6 u zadnjem gledanju. Mjesec dana nakon trećeg pregleda, prevlaka ovog uzorka i dalje je ostala kompaktna, ali hrapavija. Što se tiče korozijskog razaranja i produkata, najviše je pogođen gornji dio. Sama površina uzorka je prekrivena korozijskim produktima korozije (narančaste točkice), korozijski produkti većinom na istim mjestima kao i nakon trećeg pregleda, samo su uznapredovali i bolje su uočljiviji, ali također, mogu se primijetiti i novonastali. Tamna mrlja na površini uzorka je kapljica morske vode.



*Slika 5.28 Galvanizirani uzorak*

## 5.4. Analiza i diskusija rezultata eksperimenta

### 5.4.1. Pocinčani uzorak

Vruće pocinčavanje pokazalo se kao izuzetno učinkovita zaštitna prevlaka u morskim uvjetima. S vremenom su se na površini razvili korozijski produkti uniformne distribucije u umjerenoj količini, no nigdje nije došlo do stvaranja naslaga koje bi upućivale na oksidaciju ispod površinskog sloja. Deblji sloj cinka također je spriječio pojavu problema u zoni utjecaja topline između osnovnog materijala i prevlake. Na slici 5.29 prikazan je pocinčani uzorak tijekom cijelog eksperimenta: a) prije uranjanja, b) nakon prvog pregleda, c) nakon drugog pregleda, d) nakon trećeg pregleda, te e) nakon četvrtog pregleda. Iako se pocinčani sloj pokazao kao izvrsna zaštita, kroz cijeli eksperiment zadržao je svoju kompaktnost i nije došlo do pucanja ili ljuštenja prevlake. Glavna promjena primijećena je u estetskom izgledu, prevlaka je izgubila svoju početnu glatkoću i sjaj, što je minimalni nedostatak s obzirom na njezinu zaštitnu funkciju.

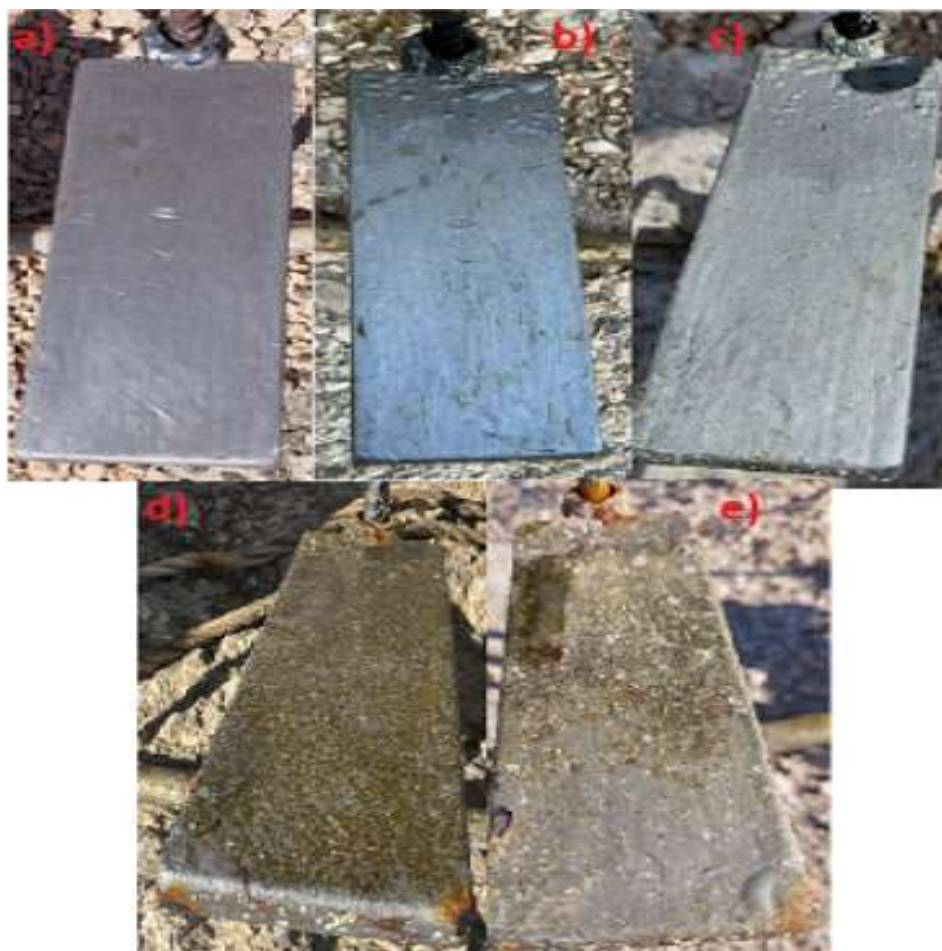


*Slika 5.29 Uzorak 1 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled*



#### 5.4.2. Obojani uzorak, bez međupremaza

Ova metoda zaštite materijala nije se pokazala optimalnom u morskim uvjetima. Na slici 5.30 prikazano je ponašanje uzorka tijekom eksperimenta: a) prije uranjanja, b) nakon prvog pregleda, c) nakon drugog pregleda, d) nakon trećeg pregleda i e) nakon četvrtog pregleda. Već nakon prvog pregleda uočava se promjena završnog premaza, dolazi do bubrenja boje, do kojeg je moglo doći zbog lošeg nanošenja boje, odnosno tanjeg sloja boje u zoni utjecaja topline. Bijele točke pojavljuju se u obliku mineralnih taloga, iako još u manjoj mjeri. Nakon drugog pregleda, dolazi do pucanja boje na vrhu uzorka, gdje je započelo bubrenje, te se uzduž površine pojavljuju veće nakupine korozivskih produkata. Nakon trećeg pregleda, primjećuju se velike količine narančastih točaka, što ukazuje na uniforman nastanak korozivskih produkata u obliku hrđe. Četvrti i posljednji pregled otkriva ozbiljna oštećenja premaza, uključujući intenzivno pucanje i bubrenje sloja boje. Osim značajnog oštećenja prevlake, primjetno je povećanje korozivskih produkata (hrđa) te mnoštvo bijelih naslaga kao rezultat mineralnih taloga. Daljnje izlaganje ovog uzorka morskoj vodi vjerojatno bi dovelo do potpunog ljuštenja boje, ostavljajući osnovni materijal u izravnom kontaktu s korozivnim okruženjem.



*Slika 5.30 Uzorak 2 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled*

#### 5.4.3. Obojani uzorak sa međupremazom

Na slici 5.31 prikazan je uzorak zaštićen bojom sa prethodnim nanošenjem međupremaza tijekom četveromjesečnog eksperimenta u morskim uvjetima. Ova metoda zaštite pokazala se vrlo neadekvatnom za korištenje u morskoj vodi. Nakon prvog mjeseca, na prvom pregledu, primjećuje se pucanje završnog sloja boje na određenim dijelovima uzorka, dok se u središnjem dijelu uzorka završna boja već oštetila i spremna je za daljnje pucanje. Korozijski produkti su prisutni u maloj količini. Na drugom pregledu uočava se nastavak pucanja i ljuštenja završnog premaza, dok se korozijski produkti počinju intenzivno i ravnomjerno pojavljivati po cijeloj površini uzorka. Treći pregled otkriva značajna oštećenja, pucanje završnog sloja zahvatilo je više od 50 % površine uzorka, a na nekim dijelovima vidljivo je i propadanje međupremaza. Korozijski produkti formiraju se na površini premaza, osobito u gornjem dijelu uzorka, dok se na donjem dijelu stvaraju velike naslage hrđe. Četvrti pregled pokazuje gotovo potpuni gubitak završne prevlake i dodatno uklanjanje međupremaza. Korozijski produkti prisutni su duž cijelog uzorka, s izraženim naslagama na dnu. Daljnje izlaganje uzorka morskoj vodi bilo bi izrazito štetno, budući da je većina površine ostala nezaštićena zbog potpunog gubitka organskog premaza. Oštećenja premaza uglavnom su posljedica agresivnog djelovanja soli iz morske vode, koje uzrokuje nagrizanje i postupno ljuštenje slojeva zaštitnog premaza.



*Slika 5.31 Uzorak 3 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled*

#### 5.4.4. Nezaštićeni uzorak

Nezaštićeni uzorak pokazao je iznenađujuće dobre rezultate s obzirom na to da nije imao zaštitni premaz i bio je izložen izravnom kontaktu s morskom vodom. Nakon prvog pregleda, primijećeno je ravnomjerno blijeđenje površine, što može ukazivati na nagrivanje soli iz morske vode. Nakon drugog pregleda, na gornjem dijelu uzorka (u zoni utjecaja topline) primijećeno je oštećenje površine i početna pojava točkaste korozije koja prodire u čelik, dok na prednjoj površini nije bilo većih oštećenja niti značajne količine korozijskih produkata. Nakon trećeg pregleda, u gornjem dijelu uzorka pojavljuju se nagomilani korozijski produkti, ali taj dio nije toliko relevantan zbog utjecaja toplinske zone. Na donjem dijelu uzorka također su uočene narančaste naslage, odnosno slojevi hrđe, dok je prednja površina nastavila pokazivati izuzetnu otpornost, unatoč tome što je uzorak bio nezaštićen. Nakon četvrtog pregleda, zabilježene su veće nakupine korozijskih produkata na vrhu i dnu uzorka. Prednja površina ravnomjerno je prekrivena bijelim točkama, koje predstavljaju mineralne taloge, dok su prisutne i narančaste mrlje koje označavaju korozijske produkte, odnosno hrđu.



*Slika 5.32 Uzorak 4 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled*

#### 5.4.5. Plastificirani uzorak

Na slici 5.33 prikazan je uzorak zaštićen plastifikacijom tijekom četveromjesečnog eksperimenta: a) prije uranjanja, b) nakon prvog pregleda, c) nakon drugog pregleda, d) nakon trećeg pregleda, i e) nakon četvrtog pregleda. Nakon prvog pregleda, plastificirana prevlaka pokazala je izvrsne rezultate, pri čemu je većina površine ostala netaknuta. Na vrhu uzorka pojavile su se bijele točkice, što upućuje na prisutnost mineralnih taloga, dok je na donjem rubu primijećena mala količina korozijskih produkata (narančaste boje). Ova pojava korozije na rubu mogla bi biti posljedica nedostatne pripreme površine, poput nečistoća koje nisu uklonjene prije nanošenja prevlake. Na drugom pregledu bilježi se povećan broj bijelih točaka duž površine uzorka. Ipak, zaštitna prevlaka zadržava svoju kompaktnost i nastavlja pružati zadovoljavajuću otpornost. Na trećem pregledu dolazi do značajnog problema, pucanja zaštitnog sloja, koji se može objasniti sa neadekvatnom pripremom površine materijala prije nanašanja prevlake. Korozijski produkti prisutni su u većoj mjeri, nego u prethodnim pregledima, ali ukupni rezultati još uvijek ostaju zadovoljavajući. Prevlaka se u donjem dijelu počela razarati, a razlog tome može biti agresivni mediji, odnosno, sol iz morske vode. Četvrti pregled otkriva progresivne posljedice pucanja prevlake na donjem dijelu uzorka. Pukotina se djelomično zatvorila korozijskim produktom, hrđom, što može dovesti do koncentracije korozijskog djelovanja unutar samog oštećenja i dovesti do korozije u procjepu. Također, na vrhu uzorka (u zoni utjecaja topline) uočene su guste bijele naslage. Površina je sada ravnomjerno prekrivena korozijskim produktima, što ukazuje da zaštitna prevlaka više nije adekvatna nakon nastanka pukotina i daljnjeg propadanja.



*Slika 5.33 Uzorak 5 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled*

#### 5.4.6. Galvanizirani uzorak

Prevlaka nanescna procesom galvanizacije pokazala je vrlo dobru otpornost u uvjetima morske vode. Cinkova prevlaka ostala je kompaktna na cijeloj površini uzorka, bez znakova pucanja ili oštećenja, iako je estetski izgubio svoj prvotni sjaj i glatkoću. Korozijski produkti su se u umjerenoj količini pojavili već pri prvom pregledu, mjesec dana nakon uranjanja uzorka. Na drugom pregledu uočene su blaže promjene na površini, gdje je uzorak dodatno izgubio sjaj, a korozijski produkti počeli su se pojavljivati u obliku sitnih narančastih točkica, ali prevlaka je i dalje ostala kompaktna. Nakon trećeg pregleda, primijećeno je pojačano nakupljanje narančastih točkica na površini, no još uvijek nije došlo do stvaranja značajnijih naslaga hrđe. Četvrti pregled otkrio je stvaranje korozijskih produkata u zoni utjecaja topline, što se može pripisati toplinskoj obradi, no ipak, premaz je ostao čvrst i bez pukotina. S druge strane, površina je pokazivala izraženiju pojavu narančastih točkica, što ukazuje na daljnje napredovanje korozijskih procesa. Korozijski produkti su se ravnomjerno taložili po površini prevlake. Galvanizacija se pokazala vrlo učinkovitom zaštitom u agresivnom okolišu poput morske vode. Međutim, uzorak zaštićen galvanizacijom pokazao je veće naslage korozijskih produkata u usporedbi s metodom vrućeg pocinčavanja, što je posljedica tanjeg sloja galvanizacijskog premaza. Na slici 5.34 prikazan je uzorak zaštićen galvanizacijom: a) prije uranjanja, b) nakon prvog pregleda, c) nakon drugog pregleda, d) nakon trećeg pregleda, i e) nakon četvrtog pregleda.



*Slika 5.34 Uzorak 6 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled*

## 6. ZAKLJUČAK

Elektrokemijska korozija predstavlja ozbiljan izazov za dugotrajnost i funkcionalnost metalnih konstrukcija i komponenti, osobito u industrijskim i prirodnim uvjetima izloženima agresivnim čimbenicima poput vlage, soli i promjenjivih temperatura. Ova vrsta korozije ne samo da narušava izgled metalnih struktura nego značajno smanjuje njihovu čvrstoću i pouzdanost, što može dovesti do visokih troškova popravaka, zastoja u radu te čak i do potpunog kvara. U uvjetima gdje su metali izloženi elektrokemijskim procesima u prisutnosti vode i agresivnih iona, korozija može biti izrazito brza, a posljedice ozbiljne. Čimbenici kao što su kemijski sastav metala, okolišni uvjeti i vrste korozijskih procesa presudno utječu na brzinu i intenzitet korozije. Legure koje sadrže određene elemente, poput kromovih legura, često pokazuju veću otpornost na koroziju. Pri tome je ključno razumjeti mehanizme korozije kako bi se primijenile ciljane i učinkovite zaštitne metode, prilagođene specifičnim oblicima korozije. Svaka vrsta korozije ima svoje specifične uzroke i načine prevencije, što omogućava preciznije i dugotrajnije rješenje.

Učinkovita zaštita prevlakama, uključujući organske i anorganske premaze, kao i metalne slojeve, igra ključnu ulogu u očuvanju metala. Organski premazi, poput boja i lakova, stvaraju barijeru koja sprječava pristup kisika i vlage, dok anorganski premazi dodatno povećavaju otpornost metala na kemijske reakcije. Metalni slojevi, kao što je cink (pocinčavanje i galvanizacija) pruža kombinaciju fizičke zaštite i katodne zaštite, pri čemu se cink žrtvuje kako bi zaštitili osnovni metal. Ove prevlake osiguravaju dodatnu kemijsku i mehaničku otpornost, čime se ne samo produljuje vijek trajanja metalnih konstrukcija nego se i značajno smanjuju troškovi održavanja, dok s druge strane, poboljšavaju estetski izgled. Pravilna priprema igra najbitniju ulogu kod primjene premaza, površina metala mora biti temeljito očišćena kako bi se prevlake mogle bolje prianjati. Nadalje, pravilna primjena zaštitnih premaza zahtijeva stručno planiranje i redovito održavanje kako bi se osigurala njihova dugotrajna učinkovitost, čineći metalne konstrukcije ekonomičnijim i ekološki održivijim rješenjem u industrijskim, građevinskim i drugim sektorima. Usklađivanje zaštitnih strategija s prirodom materijala, okolinom i specifičnim uvjetima primjene presudno je za trajnost i pouzdanost metalnih sustava, čime se osigurava veća sigurnost, niži troškovi održavanja i smanjen utjecaj na okoliš kroz smanjeni otpad i manju potrebu za zamjenama i popravcima.

U ovom radu cilj je bio ispitati ponašanje određenih metalnih i nemetalnih prevlaka u agresivnom korozivnom okruženju, morskoj vodi. Nakon četiri mjeseca eksperimenta, na svakoj prevlaci uočene su promjene u obliku nakupljanja korozijskih produkata i oštećenja na prevlakama.

Najveće promjene dogodile su se u vrhu uzorka gdje je struktura materijala bila narušena zbog toplinske obrade i na samom dnu gdje se vršilo rezanje uzoraka. Galvanizacija i pocinčavanje pokazali su vrlo dobre rezultate u pogledu kompaktnosti prevlake, nijedna prevlaka nije pukla, što potvrđuje njihovu otpornost na agresivne medije poput morske vode. Korozijski produkti ravnomjerno su se nakupljali po površini uzorka, ali u manjoj mjeri u usporedbi s ostalim uzorcima. Veću otpornost prema korozijskim produktima pokazao je pocinčani uzorak zbog debljeg sloja prevlake u usporedbi s galvaniziranim dijelom. Nadalje, plastifikacija se u početku eksperimenta pokazala kao odlična zaštitna prevlaka. Međutim, nakon što je došlo do oštećenja prevlake, što je omogućilo izravni kontakt materijala s agresivnim medijem, došlo je do značajnijeg nakupljanja korozijskih produkata. Ova prevlaka preporučuje se za primjene gdje metal nije dugotrajno izložen morskoj vodi. Druga dva uzorka, zaštićena bojom (jedan međupremazom, a drugi bez) pokazali su se kao loš odabir za morsku vodu. Već nakon mjesec dana zabilježene su oštećenja prevlake na oba uzorka. Do kraja eksperimenta, uzorak s međupremazom i završnom bojom bio je gotovo potpuno prekriven korozijskim produktima, dok je većina površine ostala izložena mediju zbog pucanja i uklanjanja prevlake. Uzorak bez međupremaza bio je nešto otporniji, jer se prevlaka nije u potpunosti odvojila kao kod uzorka s međupremazom, ali su velike deformacije bile vidljive u obliku bubrenja. S druge strane, nezaštićeni konstrukcijski čelik (S235JR), iako karakteriziran slabom otpornošću na koroziju, pokazao je veću otpornost nego što se očekivalo. Međutim, za potpunije razumijevanje uzorka ove otpornosti potrebna su dodatna ispitivanja kemijskog sastava, mikrostrukture i površinskih karakteristika uzoraka.

## LITERATURA

- [1] Corrosion of structural steel, [https://steelconstruction.info/Corrosion\\_of\\_structural\\_steel](https://steelconstruction.info/Corrosion_of_structural_steel) [29.9.2024.]
- [2] Wikipedija Elektrokemijska korozija, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrokemijska\\_korozija](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrokemijska_korozija) [29.9.2024.]
- [4] ResearchGate, Copper, Iron and Aluminium Electrochemical Corrosion Rate Dependence on Temperature, [https://www.researchgate.net/publication/356978456\\_Copper\\_Iron\\_and\\_Aluminium\\_Electrochemical\\_Corrosion\\_Rate\\_Dependence\\_on\\_Temperature](https://www.researchgate.net/publication/356978456_Copper_Iron_and_Aluminium_Electrochemical_Corrosion_Rate_Dependence_on_Temperature) [1.10.2024.]
- [5] EJOT Types of Corrosion, <https://www.ejot.com/corrosion-guide/types-of-corrosion> [1.10.2024.]
- [6] AMPP Forms of Corrosion <https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/forms-of-corrosion#pitting> [3.10.2024.]
- [7] Wikipedia, Pitting korozija, [https://en.wikipedia.org/wiki/Pitting\\_corrosion](https://en.wikipedia.org/wiki/Pitting_corrosion) [3.10.2024.]
- [8] Crevice Corrosion, <https://corrosion-doctors.org/Forms-crevice/crevice3.htm> [3.10.2024.]
- [9] Pitting and Crevice Corrosion, <https://www.ssina.com/education/corrosion/pitting-and-crevice-corrosion/> [3.10.2024.]
- [10] What is Corrosion & the 10 Most Common Types, <https://fractory.com/types-of-corrosion/> [3.10.2024.]
- [11] Galvanic Corrosion: An In-Depth Analysis, <https://orapiasia.com/everything-you-need-to-know-about-galvanic-corrosion/> [3.10.2024.]
- [12] Specialty Steel Industry of North America [,https://www.ssina.com/education/corrosion/intergranular-corrosion/](https://www.ssina.com/education/corrosion/intergranular-corrosion/) [6.10.2024.]
- [13] AMPP Intergranular Corrosion, <https://www.ampp.org/technical-research/impact/corrosion-basics/group-2/intergranular-corrosion> [6.10.2024.]
- [14] What is Erosion Corrosion, <https://thepiping.com/2020/01/what-is-erosion-corrosion.html> [7.10.2024.]
- [15] Science Direct <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128187609020031> [7.10.2024.]



- [16] Bareyn Collan, Corrosion Types, <https://collab.dvb.bayern/display/TUMzfp/Corrosion+Types> [10.10.2024.]
- [17] Technorm, Dezincification: The Enemy of Brass Plumbing Fixtures <https://technorm.ca/en/articles/dezincification-the-enemy-of-brass-plumbing-fixtures/> [10.10.2024.]
- [18] Protouch Car Care, <https://protouch.co.za/services/polishing-detailing/> [13.10.2024.]
- [19] Završni rad, Zaštita metalnih konstrukcija od korozije, [Zaštita metalnih konstrukcija od korozije | Repozitorij Tehničkog fakulteta u Rijeci](#) [13.10.2024.]
- [20] ReasrchGate, [https://www.researchgate.net/figure/Electrogalvanizing-process-for-producing-nanoparticle-composite-coatings\\_fig1\\_332871691](https://www.researchgate.net/figure/Electrogalvanizing-process-for-producing-nanoparticle-composite-coatings_fig1_332871691) [18.10.2024.]
- [21] What is Ceramic Coating? Race Coatings, Youtube video, [https://www.researchgate.net/figure/Electrogalvanizing-process-for-producing-nanoparticle-composite-coatings\\_fig1\\_332871691](https://www.researchgate.net/figure/Electrogalvanizing-process-for-producing-nanoparticle-composite-coatings_fig1_332871691) [19.10.2024]
- [22] Laser Ing, <https://www.laser-ing.hr/blog/plastifikacija-metala-sve-sto-trebate-znati/> [19.10.2024]
- [23] FERRO produkt d.o.o., Plastification of metal, <https://ferroprodukt.rs/en/plastification-of-metal/> [19.10.2024.]
- [24] Farbanje metala sa malim valjkom, Yotube video <https://www.youtube.com/watch?v=Jf1Yk7aHTu4>
- [25] Joilart pro, [https://joilart.com/proizvod/537\\_glatki-flah/show](https://joilart.com/proizvod/537_glatki-flah/show) [20.10.2024.]
- [26] World Material, <https://www.theworldmaterial.com/1-0038-steel-s235jr-material/> [7.11.2024.]

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Shematski prikaz razgradnje površine metala.....	2
Slika 2.2 Elektrokemijska korozija .....	2
Slika 2.3 Shematski prikaz anodnog i katodnog područja .....	3
Slika 2.4 Shema eksperimentalne opreme.....	7
Slika 2.5 Kinetika opadanja polumjera [R].....	8
Slika 3.1 Shematski prikaz uniformne korozije .....	9
Slika 3.2 Opća korozija na metalu .....	10
Slika 3.3 Shematski prikaz podijele točkaste korozije .....	11
Slika 3.4 Točkaste korozija čeličnog mosta .....	11
Slika 3.5 Mehanizam korozije u procjepu.....	12
Slika 3.6 Shematski prikaz korozije u procjepu.....	13
Slika 3.7 Primjer korozije u procjepu.....	13
Slika 3.8 Mehanizam galvanske korozije.....	15
Slika 3.9 Galvanski niz.....	15
Slika 3.10 Mehanizam interkristalne korozije.....	17
Slika 3.11 Interkristalna korozija .....	17
Slika 3.12 Shematski prikaz djelovanja napetosne korozije .....	19
Slika 3.13 Pucanje duž granica zrna.....	19
Slika 3.14 Više razgranato pucanje „munje“ .....	19
Slika 3.15 Šteta prouzrokovana erozijskom korozijom .....	20
Slika 3.16 Shematski prikaz nastanka turbulencije.....	21
Slika 3.17 Shematski prikaz uniformne i lokalne decinkacije .....	22
Slika 3.18 Primjer decinkacije uloška slavine.....	22
Slika 4.1 Primjer poliranja .....	23
Slika 4.2 Primjer brušenja .....	24
Slika 4.3 a) prije mehaničke obrade, b) poslije mehaničke obrade, c) nakon odmaščivanja, d) nakon nanošenja boje .....	25
Slika 4.4 Kut pod kojim se uranja materijal u posude .....	27
Slika 4.5 Posuda sa odmaščivačem .....	27
Slika 4.6 Posuda sa kiselinom .....	28
Slika 4.7 Posuda sa vodom za ispiranje .....	28
Slika 4.8 Posuda sa „fluksom“ .....	29
Slika 4.9 Komora za sušenje čelika.....	30
Slika 4.10 Posuda sa rastaljenim cinkom .....	30

Slika 4.11 Tvrdi cink (talog) .....	31
Slika 4.12 Ploče cinka .....	31
Slika 4.13 Posuda sa pasivizatorom .....	32
Slika 4.14 Pocinčane ograde .....	32
Slika 4.15 Shematski prikaz galvanizacije .....	34
Slika 4.16 Nanošenje keramike na metal .....	36
Slika 4.17 Cijevi nakon nanošenja keramičke prevlake.....	37
Slika 4.18 Mašina za prevrtanje .....	37
Slika 4.19 Cijev nakon poliranja .....	38
Slika 4.20 Nanošenje praha na metal .....	39
Slika 4.21 Polimerizacija na visokim temperaturama .....	40
Slika 4.22 Upute za korištenje boje.....	41
Slika 4.23 Primjer akrilne boje na čeličnim limenim vratima.....	42
Slika 4.24 Primjer nekompatibilnog završnog premaza sa međupremazom .....	43
Slika 4.25 Nanošenje boje kistom .....	43
Slika 4.26 Nanošenje boje pištoljem na komprimirani zrak .....	44
Slika 4.27 Nanošenje boje valjkom.....	44
Slika 5.1 Plosnata glatka pločica.....	45
Slika 5.2 Prikaz jednog od uzorka.....	47
Slika 5.3 Prikaz sidra i uzoraka .....	47
Slika 5.4 Uronjeni uzorci .....	49
Slika 5.5 Pocinčani uzorak .....	50
Slika 5.6 Uzorak sa završnom organskom bojom (bez međupremaza) .....	50
Slika 5.7 Uzorak zaštićen međupremazom i završnim premazom.....	51
Slika 5.8 Nezaštićeni uzorak .....	51
Slika 5.9 Plastificirani uzorak .....	52
Slika 5.10 Galvanizirani uzorak .....	52
Slika 5.11 Pocinčani uzorak .....	53
Slika 5.12 Uzorak sa završnom organskom bojom (bez međupremaza) .....	53
Slika 5.13 Uzorak zaštićen međupremazom i završnim premazom.....	54
Slika 5.14 Nezaštićeni uzorak .....	54
Slika 5.15 Plastificirani uzorak .....	55
Slika 5.16 Galvanizirani uzorak .....	55
Slika 5.17 Pocinčani uzorak .....	56
Slika 5.18 Uzorak sa završnom organskom bojom (bez međupremaza) .....	56

Slika 5.19 Uzorak zaštićen međupremazom i završnim premazom.....	57
Slika 5.20 Nezaštićeni uzorak .....	57
Slika 5.21 Plastificirani uzorak .....	58
Slika 5.22 Galvanizirani uzorak .....	58
Slika 5.23 Pocinčani uzorak .....	59
Slika 5.24 Uzorak sa završnom organskom bojom (bez međupremaza) .....	59
Slika 5.25 Uzorak zaštićen međupremazom i završnim premazom.....	60
Slika 5.26 Nezaštićeni uzorak .....	61
Slika 5.27 Plastificirani uzorak .....	62
Slika 5.28 Galvanizirani uzorak .....	63
Slika 5.29 Uzorak 1 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled.....	64
Slika 5.30 Uzorak 2 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled.....	65
Slika 5.31 Uzorak 3 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled.....	66
Slika 5.32 Uzorak 4 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled.....	67
Slika 5.33 Uzorak 5 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled.....	68
Slika 5.34 Uzorak 6 a) prije uranjanja, b) prvi pregled, c) drugi pregled, d) treći pregled, e) četvrti pregled.....	69

## **POPIS TABLICA**

Tablica 5.1 Značenje oznaka čelika.....	45
Tablica 5.2 Kemijski sastav čelika .....	46
Tablica 5.3 Fizička svojstva čelika.....	46
Tablica 5.4 Eksperimentalni uzorci .....	48
Tablica 5.5 Prikaz podataka.....	49

## SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je analizirati korozijsko ponašanje čelika u morskoj vodi primjenom metalnih i nemetalnih zaštitnih prevlaka, s naglaskom na njihovu učinkovitost i trajnost. Morska voda, kao izrazito agresivan korozivni medij, zahtijeva pouzdane zaštitne mjere za čelik, osobito u pomorskim konstrukcijama. U teorijskom dijelu rad detaljno opisuje mehanizam elektrokemijske korozije, vrste korozijskog oštećenja te metode zaštite, čime je omogućeno bolje razumijevanje i analiza eksperimentalnih rezultata. Ispitivanjem je pokazano da organski premazi nisu odgovarajuća zaštita čelika u moru, dok plastifikacija pruža dobru privremenu zaštitu. S druge strane, cinkova prevlaka dobivena vrućim pocinčavanjem i galvanizacijom pokazala se najboljom zaštitom.

**KLJUČNE RIJEČI:** korozija, prevlake, vruće pocinčavanje, galvanizacija, plastifikacija, organske boje.

## **SUMMARY**

The aim of this thesis was to analyze the corrosion behavior of steel in seawater using metallic and non-metallic protective coatings, with an emphasis on their effectiveness and durability. Seawater, being an extremely aggressive corrosive medium, requires reliable protective measures for steel, especially in marine structures. The theoretical section of the thesis provides a detailed description of the electrochemical corrosion mechanism, types of corrosion damage, and protective methods, thereby enabling a better understanding and analysis of the experimental results. Testing demonstrated that organic coatings are not suitable for protecting steel in marine environments, whereas plastic coating provides effective temporary protection. On the other hand, zinc coatings obtained through hot-dip galvanizing and electroplating proved to be the most effective protection.

**KEY WORDS:** corrosion, coatings, hot-dip galvanizing, electroplating, plastification, organic colors